

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2004-029747

(43)Date of publication of application : 29.01.2004

(51)Int.Cl. G03F 1/08
H01L 21/027

(21)Application number : 2003-111351 (71)Applicant : MATSUSHITA ELECTRIC IND CO LTD

(22)Date of filing : 16.04.2003 (72)Inventor : MITSUSAKA AKIO

(30)Priority

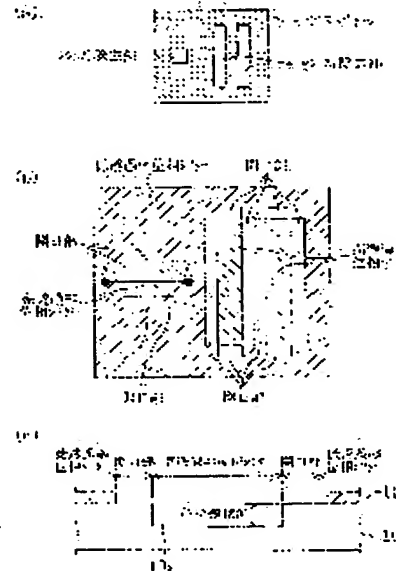
Priority number : 2002128021 Priority date : 30.04.2002 Priority country : JP

(54) PHOTOMASK, METHOD OF MANUFACTURING THE SAME, AND PATTERN FORMING METHOD USING THE SAME

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To simultaneously make an isolated space pattern or an isolated line pattern and close patterns, minute.

SOLUTION: A low-transmittance phase shifter (light half-shielding part) having a light shielding property for exposure light, a high-transmittance phase shifter (light-transmissive part) which is surrounded with the low-transmittance phase shifter and has a light transmitting property for exposure light, and an aperture part (peripheral part) placed in the vicinity of the high-transmittance phase shifter are provided on a transmissive substrate 10. The low-transmittance phase shifter and the high-transmittance phase shifter transmit exposure light with the same phase, and the aperture part transmits exposure light with an opposite phase with the high-transmittance phase shifter as the reference. A phase shift film 11 which has a transmittance so as to partially transmit exposure light and transmits exposure light in an opposite phase with the peripheral part as the reference is formed on the transmissive substrate 10 in a low-transmittance phase shifter formation area.



BEST AVAILABLE COPY

LEGAL STATUS

[Date of request for examination] 16.04.2003

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]
[Patent number]
[Date of registration]
[Number of appeal against examiner's decision
of rejection]
[Date of requesting appeal against examiner's
decision of rejection]
[Date of extinction of right]

Copyright (C); 1998,2003 Japan Patent Office

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2004-29747

(P2004-29747A)

(43) 公開日 平成16年1月29日(2004.1.29)

(51) Int.Cl.⁷G03F 1/08
H01L 21/027

F I

G03F 1/08 D
G03F 1/08 A
H01L 21/30 502P

テーマコード(参考)

2H095

審査請求 有 請求項の数 34 O L (全 50 頁)

(21) 出願番号 特願2003-111351(P2003-111351)
 (22) 出願日 平成15年4月16日(2003.4.16)
 (31) 優先権主張番号 特願2002-128021(P2002-128021)
 (32) 優先日 平成14年4月30日(2002.4.30)
 (33) 優先権主張国 日本国(JP)

(71) 出願人 000005821
 松下電器産業株式会社
 大阪府門真市大字門真1006番地
 (74) 代理人 100077931
 弁理士 前田 弘
 (74) 代理人 100094134
 弁理士 小山 廣毅
 (74) 代理人 100110939
 弁理士 竹内 宏
 (74) 代理人 100110940
 弁理士 嶋田 高久
 (74) 代理人 100113262
 弁理士 竹内 祐二
 (74) 代理人 100115059
 弁理士 今江 克実

最終頁に続く

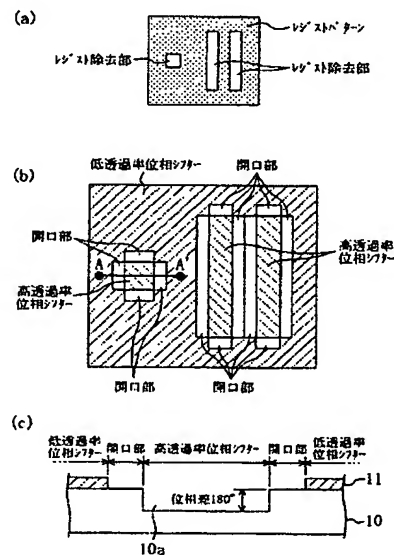
(54) 【発明の名称】 フォトマスク、その作成方法、及びそのフォトマスクを用いたパターン形成方法

(57) 【要約】

【課題】 孤立スペースパターンと孤立ラインパターン又は密集パターンとを同時に微細化できるようにする。

【解決手段】 露光光に対して遮光性を有する低透過率位相シフター（半遮光部）と、低透過率位相シフターにより囲まれ且つ露光光に対して透光性を有する高透過率位相シフター（透光部）と、高透過率位相シフターの近傍に位置する開口部（周辺部）とが透過性基板10上に設けられている。低透過率位相シフター及び高透過率位相シフターは露光光を互いに同位相で透過させる一方、開口部は、低透過率位相シフター及び高透過率位相シフターを基準として露光光を反対位相で透過させる。低透過率位相シフター形成領域の透過性基板10上には、露光光を部分的に透過させる透過率を有し且つ周辺部を基準として露光光を反対位相で透過させる位相シフト膜11が形成されている。

【選択図】 図10



【特許請求の範囲】**【請求項 1】**

露光光に対して遮光性を有する半遮光部と、
前記半遮光部により囲まれ且つ前記露光光に対して透光性を有する透光部と、
前記半遮光部により囲まれ且つ前記透光部の周辺に位置する周辺部とを透過性基板上に備え、
前記半遮光部及び前記透光部は前記露光光を互いに同位相で透過させ、
前記周辺部は、前記半遮光部及び前記透光部を基準として前記露光光を反対位相で透過させ、
前記半遮光部形成領域の前記透過性基板上に、前記露光光を部分的に透過させる透過率を有し且つ前記周辺部を基準として前記露光光を反対位相で透過させる位相シフト膜が形成されていることを特徴とするフォトマスク。

10

【請求項 2】

前記透光部形成領域の前記透過性基板は、前記周辺部を基準として前記露光光が反対位相で透過する厚さを持つように掘り下げられていることを特徴とする請求項 1 に記載のフォトマスク。

【請求項 3】

前記周辺部形成領域の前記透過性基板の表面は露出していることを特徴とする請求項 1 又は 2 に記載のフォトマスク。

【請求項 4】

前記位相シフト膜は金属含有酸化膜であることを特徴とする請求項 1 ～ 3 のいずれか 1 項に記載のフォトマスク。

20

【請求項 5】

前記位相シフト膜は、
前記露光光に対する透過率が前記透過性基板よりも低い透過率調整膜と、
前記透過率調整膜上に形成され且つ前記周辺部を基準として前記露光光を反対位相で透過させる位相調整膜とを有することを特徴とする請求項 1 ～ 3 のいずれか 1 項に記載のフォトマスク。

【請求項 6】

前記透過率調整膜は金属又は金属合金からなる薄膜であることを特徴とする請求項 5 に記載のフォトマスク。

30

【請求項 7】

前記透過率調整膜の膜厚は 30 nm 以下であることを特徴とする請求項 6 に記載のフォトマスク。

【請求項 8】

前記位相調整膜は酸化膜であることを特徴とする請求項 5 ～ 7 のいずれか 1 項に記載のフォトマスク。

【請求項 9】

前記周辺部は、前記透光部から所定の寸法だけ離れた位置に配置されており、
前記周辺部と前記透光部との間に、前記位相シフト膜のうちの前記透過率調整膜のみが形成されていることを特徴とする請求項 5 ～ 8 のいずれか 1 項に記載のフォトマスク。

40

【請求項 10】

前記周辺部は前記透光部と接するように配置されていることを特徴する請求項 1 ～ 8 のいずれか 1 項に記載のフォトマスク。

【請求項 11】

前記周辺部は、前記透光部から所定の寸法だけ離して配置されていることを特徴する請求項 1 ～ 8 のいずれか 1 項に記載のフォトマスク。

【請求項 12】

前記位相シフト膜は、
前記露光光に対する透過率が前記透過性基板よりも低い透過率調整膜と、

50

前記透過率調整膜上に形成され且つ前記周辺部を基準として前記露光光を反対位相で透過させる位相調整膜とを有し、
前記周辺部形成領域の前記透過性基板上にも前記透過率調整膜が形成されていることを特徴とする請求項 1 又は 2 に記載のフォトマスク。

【請求項 1 3】

前記透過率調整膜は、金属又は金属合金からなり且つ前記周辺部を基準として前記露光光を同位相で透過させる薄膜であることを特徴とする請求項 1 2 に記載のフォトマスク。

【請求項 1 4】

前記透過率調整膜の膜厚は 30 nm 以下であることを特徴とする請求項 1 3 に記載のフォトマスク。

10

【請求項 1 5】

前記位相調整膜は酸化膜であることを特徴とする請求項 1 2 ～ 1 4 のいずれか 1 項に記載のフォトマスク。

【請求項 1 6】

前記周辺部は前記透光部と接するように配置されていることを特徴する請求項 1 2 ～ 1 5 のいずれか 1 項に記載のフォトマスク。

【請求項 1 7】

前記周辺部は、前記透光部から所定の寸法だけ離して配置されていることを特徴する請求項 1 2 ～ 1 5 のいずれか 1 項に記載のフォトマスク。

【請求項 1 8】

前記位相シフト膜は、
前記周辺部を基準として前記露光光を反対位相で透過させる位相調整膜と、
前記位相調整膜上に形成され且つ前記露光光に対する透過率が前記透過性基板よりも低い透過率調整膜とを有し、
前記透光部形成領域の前記透過性基板上にも前記位相調整膜が形成されており、
前記周辺部形成領域の前記透過性基板の表面は露出していることを特徴とする請求項 1 に記載のフォトマスク。

20

【請求項 1 9】

前記透過率調整膜は、金属又は金属合金からなり且つ前記周辺部を基準として前記露光光を同位相で透過させる薄膜であることを特徴とする請求項 1 8 に記載のフォトマスク。

30

【請求項 2 0】

前記透過率調整膜の膜厚は 30 nm 以下であることを特徴とする請求項 1 9 に記載のフォトマスク。

【請求項 2 1】

前記位相調整膜は酸化膜であることを特徴とする請求項 1 8 ～ 2 0 のいずれか 1 項に記載のフォトマスク。

【請求項 2 2】

前記周辺部は前記透光部と接するように配置されていることを特徴する請求項 1 8 ～ 2 1 のいずれか 1 項に記載のフォトマスク。

【請求項 2 3】

前記周辺部は、前記透光部から所定の寸法だけ離して配置されていることを特徴する請求項 1 8 ～ 2 1 のいずれか 1 項に記載のフォトマスク。

40

【請求項 2 4】

前記露光光に対する前記位相シフト膜の透過率は 6 % 以上で且つ 15 % 以下であることを特徴とする請求項 1 ～ 2 3 のいずれか 1 項に記載のフォトマスク。

【請求項 2 5】

請求項 1 ～ 2 4 のいずれか 1 項に記載のフォトマスクを用いたパターン形成方法であって、
基板上にレジスト膜を形成する工程と、
前記レジスト膜に前記フォトマスクを介して前記露光光を照射する工程と、

50

前記露光光を照射された前記レジスト膜を現像して、前記レジスト膜をパターン化する工程とを備えていることを特徴とするパターン形成方法。

【請求項 26】

前記露光光を照射する工程において斜入射照明法を用いることを特徴とする請求項 25 に記載のパターン形成方法。

【請求項 27】

露光光に対して遮光性を有する半遮光部と、前記半遮光部により囲まれ且つ前記露光光に対して透光性を有する透光部と、前記半遮光部により囲まれ且つ前記透光部の周辺に位置する周辺部とを透過性基板上に備えたフォトマスクの作成方法であって、前記半遮光部形成領域の前記透過性基板上に、前記露光光を部分的に透過させる透過率を有し且つ前記周辺部を基準として前記露光光を反対位相で透過させる位相シフト膜を形成する第1の工程と、

10

前記第1の工程よりも後に、前記透光部形成領域の前記透過性基板を、前記周辺部を基準として前記露光光が反対位相で透過する厚さを持つように掘り下げる第2の工程とを備えていることを特徴とするフォトマスクの作成方法。

【請求項 28】

前記第1の工程は、前記透過性基板の上に全面に亘って前記位相シフト膜を形成した後、前記透光部形成領域及び前記周辺部形成領域の前記位相シフト膜を除去する工程を含むことを特徴とする請求項 27 に記載のフォトマスクの作成方法。

【請求項 29】

20

前記第1の工程は、前記透過性基板の上に全面に亘って前記位相シフト膜を形成した後、前記周辺部形成領域の前記位相シフト膜を除去する工程を含み、前記第2の工程は、前記透光部形成領域の前記透過性基板を掘り下げる前に、前記透光部形成領域の前記位相シフト膜を除去する工程を含むことを特徴とする請求項 27 に記載のフォトマスクの作成方法。

【請求項 30】

前記位相シフト膜は、前記露光光に対する透過率が前記透過性基板よりも低い透過率調整膜と、前記透過率調整膜上に形成され且つ前記周辺部を基準として前記露光光を反対位相で透過させる位相調整膜とを有することを特徴とする請求項 27 ～ 29 のいずれか1項に記載のフォトマスクの作成方法。

30

【請求項 31】

前記第1の工程は、前記透過性基板の上に全面に亘って、前記露光光に対する透過率が前記透過性基板よりも低い透過率調整膜、及び前記周辺部を基準として前記露光光を反対位相で透過させる位相調整膜を順次形成した後、前記透光部形成領域及び前記周辺部形成領域の前記位相調整膜を除去することによって、前記半遮光部形成領域の前記透過性基板上に、前記透過率調整膜及び前記位相調整膜からなる前記位相シフト膜を形成する工程を含み、

前記第2の工程は、前記透光部形成領域の前記透過性基板を掘り下げる前に、前記透光部形成領域の前記透過率調整膜を除去する工程を含むことを特徴とする請求項 27 に記載のフォトマスクの作成方法。

40

【請求項 32】

前記第1の工程は、前記透過性基板の上に全面に亘って、前記露光光に対する透過率が前記透過性基板よりも低い透過率調整膜、及び前記周辺部を基準として前記露光光を反対位相で透過させる位相調整膜を順次形成した後、前記周辺部形成領域の前記位相調整膜を除去することによって、前記半遮光部形成領域の前記透過性基板上に、前記透過率調整膜及び前記位相調整膜からなる前記位相シフト膜を形成する工程を含み、

前記第2の工程は、前記透光部形成領域の前記透過性基板を掘り下げる前に、前記透光部形成領域の前記位相調整膜及び前記透過率調整膜を順次除去する工程を含むことを特徴とする請求項 27 に記載のフォトマスクの作成方法。

50

【請求項 3 3】

露光光に対して遮光性を有する半遮光部と、前記半遮光部により囲まれ且つ前記露光光に対して透光性を有する透光部と、前記半遮光部により囲まれ且つ前記透光部の周辺に位置する周辺部とを透過性基板上に備えたフォトリソグラフィの作成方法であって、前記透過性基板の上に全面に亘って、前記周辺部を基準として前記露光光を反対位相で透過させる位相調整膜、及び前記露光光に対する透過率が前記透過性基板よりも低い透過率調整膜を順次形成する第 1 の工程と、前記周辺部形成領域の前記位相調整膜及び前記透過率調整膜を除去する第 2 の工程と、前記第 2 の工程よりも後に、前記透光部形成領域の前記透過率調整膜を除去する第 3 の工程とを備え、前記半遮光部形成領域の前記透過性基板上に形成された前記位相調整膜及び前記透過率調整膜は、前記露光光を部分的に透過させる透過率を有し且つ前記周辺部を基準として前記露光光を反対位相で透過させる位相シフト膜を構成することを特徴とするフォトリソグラフィの作成方法。

10

【請求項 3 4】

前記露光光に対する前記位相シフト膜の透過率は 6 % 以上で且つ 1 5 % 以下であることを特徴とする請求項 2 7 ~ 3 3 のいずれか 1 項に記載のフォトリソグラフィの作成方法。

【発明の詳細な説明】

【0 0 0 1】

【発明の属する技術分野】

20

本発明は、半導体集積回路装置の製造に用いられる微細パターン形成用のフォトリソグラフィ、その作成方法及びそのフォトリソグラフィを用いたパターン形成方法に関する。

【0 0 0 2】

【従来の技術】

近年、半導体を用いて実現する大規模集積回路装置（以下、LSI と称する）の高集積化のために回路パターンの微細化がますます必要となってきた。その結果、回路を構成する配線パターンの細線化、又は絶縁層を介して多層化された配線同士をつなぐコンタクトホールパターン（以下、コンタクトパターンと称する）の微細化が非常に重要となってきた。

【0 0 0 3】

30

以下、近年の光露光システムによる配線パターンの細線化について、ポジ型レジストプロセスを用いて行なう場合を想定して説明する。ポジ型レジストプロセスにおいて、ラインパターンとは、フォトリソグラフィを用いた露光及びその後の現像によって、レジストの非感光領域と対応して残存するライン状のレジスト膜（レジストパターン）である。また、スペースパターンとは、レジストの感光領域と対応するレジスト除去部（レジスト除去パターン）である。また、コンタクトパターンとは、ホール状のレジスト除去部であり、スペースパターンのうち特に微小なものと考えればよい。尚、ポジ型レジストプロセスに代えてネガ型レジストプロセスを用いる場合、前述のラインパターン及びスペースパターンのそれぞれの定義を入れ替えればよい。

【0 0 0 4】

40

一般に、配線パターンの微細化には、超解像露光と呼ばれる斜入射露光を用いた細線パターン形成方法が導入されてきた。この方法は、レジストの非感光領域と対応するレジストパターンの微細化方法として優れていると共に、周期的に配置された密パターンの焦点深度を向上させる効果も有している。但し、この斜入射露光方法は、孤立したレジスト除去部を微細化する方法としてはほとんど効果がなく、逆に、像（光学像）のコントラストや焦点深度を劣化させるものである。このため、斜入射露光方法は、レジスト除去部の寸法がレジストパターンの寸法よりも大きいという特徴を有するパターン形成、例えばゲートパターン形成等に積極的に用いられてきている。

【0 0 0 5】

一方、微小コンタクトパターンのような孤立した微細なレジスト除去部を形成するために

50

は、斜入射部分を含まない低干渉度の小さな光源を用いることが効果的であることがわかっていて、このとき、ハーフトーン位相シフトマスクを用いると、より効果的である（例えば特許文献1参照）。ハーフトーン位相シフトマスクにおいては、コンタクトパターンと対応する透光部（開口部）を囲むマスクパターンとして、完全遮光部に代えて、露光光に対して3～6%程度の非常に低い透過率を有し且つ開口部を透過する光に対して180度の位相反転を生じる位相シフターが設けられている。

【0006】

尚、本明細書において、特に断らない限り、透過率を、透過性基板の透過率を100%としたときの実効透過率で表す。また、完全遮光膜（完全遮光部）とは、実効透過率が1%よりも小さい遮光膜（遮光部）を意味するものとする。

10

【0007】

以下、ハーフトーン位相シフトマスクによるパターン形成方法の原理について図27（a）～（g）を参照しながら説明する。

【0008】

図27（a）は、マスク表面に設けられた完全遮光部となるクロム膜にコンタクトパターンと対応する開口部が設けられてなるフォトマスクの平面図であり、図27（b）は、図27（a）に示すフォトマスクを透過した光における線分AA'と対応する振幅強度を示している。図27（c）は、マスク表面に設けられた位相シフターにコンタクトパターンと対応するクロム膜が完全遮光部として設けられてなるフォトマスクの平面図であり、図27（d）は、図27（c）に示すフォトマスクを透過した光における線分AA'と対応する振幅強度を示している。図27（e）は、マスク表面に設けられた位相シフターにコンタクトパターンと対応する開口部が設けられてなるフォトマスク（つまりハーフトーン位相シフトマスク）の平面図であり、図27（f）及び（g）はそれぞれ、図27（e）に示すフォトマスクを透過した光における線分AA'と対応する振幅強度及び光強度を示している。

20

【0009】

ここで、図27（b）、（d）、（f）に示すように、図27（e）に示すハーフトーン位相シフトマスクを透過した光の振幅強度は、図27（a）及び（c）のそれぞれに示すフォトマスクを透過した光の振幅強度の和になっている。すなわち、図27（e）に示すハーフトーン位相シフトマスクにおいては、遮光部となる位相シフターは、低い透過率で光を透過させるだけでなく、該位相シフターを透過する光に、開口部を通過する光に対して180度の光路差（位相差）を与えるように形成されている。このため、図27（b）、（d）に示すように、位相シフターを透過する光は、開口部を透過する光に対して反対位相の振幅強度分布を有するので、図27（b）に示す振幅強度分布と図27（d）に示す振幅強度分布とを合成すると、図27（f）に示すように、位相変化により振幅強度が0となる位相境界が発生する。その結果、図27（g）に示すように、位相境界となる開口部の端（以下、位相端と称する）では、振幅強度の2乗で表される光強度も0となって強い暗部が形成される。従って、図27（e）に示すハーフトーン位相シフトマスクを透過した光の像においては、開口部周辺で非常に強いコントラストが実現される。但し、このコントラストの向上は、マスクに対して垂直に入射する光、具体的には低干渉度の小さな光源領域からマスクに入射する光に対して生じる一方、斜入射露光、例えば垂直入射成分（光源中心（マスクの法線方向）からの照明成分）を取り除いた輪帯照明と呼ばれるような露光に対しては、開口部周辺（位相変化が発生する位相境界付近）でもコントラストの向上は見られない。さらに、低干渉度の小さな光源により露光を行なう場合と比べて、斜入射露光を行なう場合の方が焦点深度も低くなるという欠点もある。

30

40

【0010】

【特許文献1】

特開平9-90601号公報（第2頁～第3頁及び第2図）

【0011】

【発明が解決しようとする課題】

50

前述のように、コンタクトパターンのような微細なレジスト除去パターンをポジ型レジストプロセスにより形成しようとした場合、垂直入射成分だけの照明となる干渉度0.5程度以下の小さな光源をハーフトーン位相シフトマスクと組み合わせて露光を行なう必要があった。この方法は、微細な孤立配置のコンタクトパターンの形成には非常に効果的であった。

【0012】

ところで、近年の半導体装置の高集積化に伴って、配線パターンのみならずコンタクトパターンにおいても孤立配置されたパターンと共に密に配置されたパターンが必要とされるようになってきている。ここで、密に配置されたコンタクトパターンの形成において高い焦点深度を実現するためには、密に配置された配線パターンと同様に斜入射露光が効果的である。 10

【0013】

また、近年、配線パターン形成においても、配線パターンとなるラインパターンの微細化に加えて、配線間のスペースパターンの微細化も必要となってきた。ここで、孤立した微小な配線間スペースパターンの形成に、低干渉度の光源をハーフトーン位相シフトマスクと組み合わせて使用することが効果的であることは孤立コンタクトパターンの場合と同様である。

【0014】

すなわち、高密度の配線パターン及び高密度のコンタクトパターンの形成には斜入射露光が必須である一方、斜入射露光を行なうと、孤立のコンタクトパターン及び孤立の配線間スペースパターンのコントラスト及び焦点深度が著しく悪化する。このコントラスト及び焦点深度の悪化は、解像度向上のためにハーフトーン位相シフトマスクを用いた場合、より一層顕著になる。 20

【0015】

逆に、孤立した微小コンタクトパターン及び孤立した微小配線間スペースパターンの形成のために、低干渉度の小さな光源を用いると、高密度パターン又は微小ラインパターンの形成が困難になるという問題がある。

【0016】

従って、孤立配置された微小なスペースパターンに対する最適照明条件と、密に配置されたパターン又は微小なラインパターンに対する最適照明条件とは相反関係にある。このため、微小なレジストパターンの形成と微小な孤立レジスト除去パターンの形成とを同時に行なうために、光源からの垂直入射成分及び斜入射成分のそれぞれの効果に対してトレードオフが行なわれ、結果として干渉度が中程度(0.5~0.6程度)の光源が用いられる。しかし、この場合、垂直入射及び斜入射の両方の効果が相殺されるので、孤立ラインパターン又は密集パターンと孤立スペースパターンとを同時に微細化して半導体装置のさらなる高集積化を実現していくことは困難になる。 30

【0017】

前記に鑑み、本発明は、孤立スペースパターンと孤立ラインパターン又は密集パターンとを同時に微細化できるようにすることを目的とする。

【0018】

【課題を解決するための手段】

前記の目的を達成するために、本発明に係るフォトマスクは、露光光に対して遮光性を有する半遮光部と、半遮光部により囲まれ且つ露光光に対して透光性を有する透光部と、半遮光部により囲まれ且つ透光部の周辺に位置する周辺部とを透過性基板上に備え、半遮光部及び透光部は露光光を互いに同位相で透過させ、周辺部は、半遮光部及び透光部を基準として露光光を反対位相で透過させる。また、半遮光部形成領域の透過性基板上に、露光光を部分的に透過させる透過率を有し且つ周辺部を基準として露光光を反対位相で透過させる位相シフト膜が形成されている。 40

【0019】

本発明のフォトマスクによると、透光部と、該透光部と同位相で露光光を透過させる遮光 50

性の半遮光部とによって、透光部と反対位相で露光光を透過させる周辺部が挟まれる。その結果、透光部を透過する光と周辺部を透過する光との相互干渉により、透光部と周辺部との間の光強度分布のコントラストを強調できる。また、このコントラスト強調効果は、例えばポジ型レジストプロセスにおいて斜入射露光を用いて微細な孤立レジスト除去部（つまり透光部と対応する微細な孤立スペースパターン）を形成する場合にも得られる。すなわち、本発明のフォトマスクと斜入射露光との組み合わせにより、孤立スペースパターンと孤立ラインパターン又は密集パターンとを同時に微細化することができる。

【0020】

尚、本明細書において、露光光に対して透光性を有するとは、レジストを感光させる透過率を有することを意味し、露光光に対して遮光性を有するとは、レジストを感光させない透過率を有することを意味する。また、同位相とは、 $-30 + 360 \times n$ 度以上で且つ $(30 + 360 \times n)$ 度以下の位相差（但し n は整数）を意味し、反対位相とは、 $(150 + 360 \times n)$ 度以上で且つ $(210 + 360 \times n)$ 度以下の位相差を意味する。

【0021】

本発明のフォトマスクにおいて、透光部形成領域の透過性基板は、周辺部を基準として露光光が反対位相で透過する厚さを持つように掘り下げられていてもよい。言い換えると、透光部は、高透過率位相シフターとして機能する基板掘り下げ部であってもよい。

【0022】

本発明のフォトマスクにおいて、周辺部形成領域の透過性基板の表面は露出していてもよい。

【0023】

本発明のフォトマスクにおいて、位相シフト膜は金属含有酸化膜であってもよい。

【0024】

本発明のフォトマスクにおいて、位相シフト膜は、露光光に対する透過率が透過性基板よりも低い透過率調整膜と、透過率調整膜上に形成され且つ周辺部を基準として露光光を反対位相で透過させる位相調整膜とを有することが好ましい。

【0025】

このようにすると、位相シフト膜において所望の位相変化と所望の透過率との組み合わせを任意に選べる。また、透過率調整膜の材料と位相調整膜の材料との組み合わせによって、位相シフト膜を加工するためのエッチング時の選択比を向上させることができる。

【0026】

位相シフト膜が透過率調整膜と位相調整膜とを有する場合、透過率調整膜は金属又は金属合金からなる薄膜であってもよい。このとき、透過率調整膜の膜厚は 30 nm 以下であってもよい。

【0027】

また、位相シフト膜が透過率調整膜と位相調整膜とを有する場合、位相調整膜は酸化膜であってもよい。

【0028】

さらに、位相シフト膜が透過率調整膜と位相調整膜とを有する場合、周辺部は、透光部から所定の寸法だけ離れた位置に配置されており、周辺部と透光部との間に、位相シフト膜のうちの透過率調整膜のみが形成されていることが好ましい。このようにすると、周辺部の透過率と、周辺部と透光部との間における透過率調整膜のみが形成されている部分（以下、位相調整膜除去部分と称する）の透過率との平均値が、周辺部の透過率よりも小さくなる。すなわち、位相調整膜除去部分を含めた周辺部の透過率（実効透過率）を1よりも小さくできるので、周辺部の寸法制御に対するマージンが大きくなる。尚、透過率調整膜が単層薄膜である場合、周辺部を透過する光と、位相調整膜除去部分を透過する光とはほぼ同位相である。また、この場合、多層構造の透過率調整膜を用いる場合と比べて、周辺部と透光部との間に微小幅の透過率調整膜を形成した際における該膜の剥離を抑制できる。

【0029】

本発明のフォトマスクにおいて、周辺部は、透光部と接するように配置されていてもよいし又は透光部から所定の寸法だけ離して配置されていてもよい。

【0030】

本発明のフォトマスクにおいて、位相シフト膜は、露光光に対する透過率が透過性基板よりも低い透過率調整膜と、透過率調整膜上に形成され且つ周辺部を基準として露光光を反対位相で透過させる位相調整膜とを有し、周辺部の透過性基板上にも透過率調整膜が形成されていることが好ましい。

【0031】

このようにすると、位相シフト膜において所望の位相変化と所望の透過率との組み合わせを任意に選べる。また、透過率調整膜の材料と位相調整膜の材料との組み合わせによって、位相シフト膜を加工するためのエッチング時の選択比を向上させることができる。また、周辺部の透過性基板上に透過率調整膜のみが形成されているため、周辺部の透過率は透過性基板よりも低減され、周辺部は透過率調整部となる。すなわち、周辺部の透過率は透過率調整膜によって所望値に調整される。従って、周辺部の透過率がフォトマスク上で最も高くなることを回避できるので、周辺部に要求される微細化の程度を低減できる。言い換えると、輪郭強調マスクにおける周辺部つまり開口部の上限寸法が微小になってフォトマスク作成が困難になるという問題を防止することができる。

【0032】

また、この場合、透過率調整膜は、金属又は金属合金からなり且つ周辺部を基準として露光光を同位相で透過させる薄膜であってもよい。このとき、透過率調整膜の膜厚は30 nm以下であってもよい。

【0033】

また、この場合、位相調整膜は酸化膜であってもよい。

【0034】

さらに、この場合、周辺部は、透光部と接するように配置されていてもよいし又は透光部から所定の寸法だけ離して配置されていてもよい。

【0035】

本発明のフォトマスクにおいて、位相シフト膜は、周辺部を基準として露光光を反対位相で透過させる位相調整膜と、位相調整膜上に形成され且つ露光光に対する透過率が透過性基板よりも低い透過率調整膜とを有し、透光部の透過性基板上にも位相調整膜が形成されており、周辺部の透過性基板の表面は露出していることが好ましい。

【0036】

このようにすると、位相シフト膜において所望の位相変化と所望の透過率との組み合わせを任意に選べる。また、透過率調整膜の材料と位相調整膜の材料との組み合わせによって、位相シフト膜を加工するためのエッチング時の選択比を向上させることができる。

【0037】

また、この場合、透過率調整膜は、金属又は金属合金からなり且つ周辺部を基準として露光光を同位相で透過させる薄膜であってもよい。このとき、透過率調整膜の膜厚は30 nm以下であってもよい。

【0038】

また、この場合、位相調整膜は酸化膜であってもよい。

【0039】

さらに、この場合、周辺部は、透光部と接するように配置されていてもよいし又は透光部から所定の寸法だけ離して配置されていてもよい。

【0040】

本発明のフォトマスクにおいて、位相シフト膜の透過率は6%以上で且つ15%以下であることが好ましい。

【0041】

このようにすると、パターン形成時におけるレジスト膜の膜減り等を防止しながら、本発明によるコントラスト強調効果を確実に得ることができる。

10

20

30

40

50

【0042】

本発明に係るパターン形成方法は、本発明のフォトマスクを用いたパターン形成方法を前提とし、基板上にレジスト膜を形成する工程と、レジスト膜にフォトマスクを介して露光光を照射する工程と、露光光を照射されたレジスト膜を現像して、レジスト膜をパターン化する工程とを備えている。

【0043】

本発明のパターン形成方法によると、本発明のフォトマスクと同様の効果が得られる。また、前述の効果は、露光光を照射する工程において斜入射照明法（斜入射露光法）を用いることにより確実に得られる。

【0044】

本発明に係る第1のフォトマスクの作成方法は、露光光に対して遮光性を有する半遮光部と、半遮光部により囲まれ且つ露光光に対して透光性を有する透光部と、半遮光部により囲まれ且つ透光部の周辺に位置する周辺部とを透過性基板上に備えたフォトマスクの作成方法である。具体的には、半遮光部形成領域の透過性基板上に、露光光を部分的に透過させる透過率を有し且つ周辺部を基準として露光光を反対位相で透過させる位相シフト膜を形成する第1の工程と、第1の工程よりも後に、透光部形成領域の透過性基板を、周辺部を基準として露光光が反対位相で透過する厚さを持つように掘り下げる第2の工程とを備えている。

【0045】

第1のフォトマスクの作成方法によると、半遮光部形成領域の透過性基板上に、露光光を部分的に且つ反対位相で透過させる位相シフト膜を形成した後、透光部形成領域の透過性基板を、露光光が反対位相で透過する厚さを持つように掘り下げる。このため、高透過率位相シフターとなる透光部と、透光部と同位相で露光光を透過させる低透過率位相シフターとなる半遮光部とによって、透光部と反対位相で露光光を透過させる周辺部を挟むことができる。従って、透光部を透過する光と周辺部を透過する光との相互干渉により、透光部と周辺部との間の光強度分布のコントラストを強調できる。また、このコントラスト強調効果は、例えばポジ型レジストプロセスにおいて斜入射露光を用いて微細な孤立レジスト除去部（つまり透光部と対応する微細な孤立スペースパターン）を形成する場合にも得られる。すなわち、斜入射露光により、孤立スペースパターンと孤立ラインパターン又は密集パターンとを同時に微細化することができる。

【0046】

第1のフォトマスクの作成方法において、第1の工程は、透過性基板の上に全面に亘って位相シフト膜を形成した後、透光部形成領域及び周辺部形成領域の位相シフト膜を除去する工程を含むことが好ましい。

【0047】

このようにすると、透過性基板上に位相シフト膜を形成した後、位相シフト膜及び透過性基板に対してそれぞれ選択的にエッチングを行なうため、低透過率位相シフターとなる半遮光部と周辺部とを有する任意形状のマスクパターン、及び高透過率位相シフターとなる任意形状の透光部をそれぞれ容易に実現できる。また、透光部と周辺部とが離間している場合、言い換えると、透光部と周辺部との間に位相シフト膜を残しておく場合、第1の工程でパターン化された位相シフト膜をマスクとして、第2の工程で透過性基板に対して自己整合的にエッチングを行なうことができるので、フォトマスク加工を正確に行なうことができる。

【0048】

第1のフォトマスクの作成方法において、第1の工程は、透過性基板の上に全面に亘って位相シフト膜を形成した後、周辺部形成領域の位相シフト膜を除去する工程を含み、第2の工程は、透光部形成領域の透過性基板を掘り下げる前に、透光部形成領域の位相シフト膜を除去する工程を含むことが好ましい。

【0049】

このようにすると、透過性基板上に位相シフト膜を形成した後、位相シフト膜及び透過性

基板に対してそれぞれ選択的にエッチングを行なうため、低透過率位相シフターとなる半遮光部と周辺部とを有する任意形状のマスクパターン、及び高透過率位相シフターとなる任意形状の透光部をそれぞれ容易に実現できる。また、周辺部形成領域の位相シフト膜を除去する工程と、透光部形成領域の位相シフト膜を除去する工程とを別々に行なうため、透光部形成領域と周辺部形成領域とが微小幅で離間している場合、つまり、透光部と周辺部との間に微小幅の位相シフト膜を残しておく場合、フォトマスク加工のマージンを大きくできる。

【0050】

第1のフォトマスクの作成方法において、位相シフト膜は、露光光に対する透過率が透過性基板よりも低い透過率調整膜と、透過率調整膜上に形成され且つ周辺部を基準として露光光を反対位相で透過させる位相調整膜とを有することが好ましい。 10

【0051】

このようにすると、位相シフト膜において所望の位相変化と所望の透過率との組み合わせを任意に選べる。また、透過率調整膜の材料と位相調整膜の材料との組み合わせによって、位相シフト膜を加工するためのエッチング時の選択比を向上させることができる。

【0052】

第1のフォトマスクの作成方法において、第1の工程は、透過性基板の上に全面に亘って、露光光に対する透過率が透過性基板よりも低い透過率調整膜、及び周辺部を基準として露光光を反対位相で透過させる位相調整膜を順次形成した後、透光部形成領域及び周辺部形成領域の位相調整膜を除去することによって、半遮光部形成領域の透過性基板上に、透過率調整膜及び位相調整膜からなる位相シフト膜を形成する工程を含み、第2の工程は、透光部形成領域の透過性基板を掘り下げる前に、透光部形成領域の透過率調整膜を除去する工程を含むことが好ましい。 20

【0053】

このようにすると、周辺部形成領域の透過性基板上に透過率調整膜が形成されるため、周辺部の透過率は透過性基板よりも低減され、周辺部は透過率調整部となる。すなわち、周辺部の透過率は透過率調整膜によって所望値に調整される。従って、周辺部の透過率がフォトマスク上で最も高くなることを回避できるので、周辺部に要求される微細化の程度を低減できる。言い換えると、輪郭強調マスクにおける開口部の上限寸法が微小になってフォトマスク作成が困難になるという問題を防止することができる。また、透過性基板上に透過率調整膜及び位相調整膜を順次形成した後、位相調整膜、透過率調整膜及び透過性基板に対してそれぞれエッチングを行なうことによって、低透過率位相シフターとなる半遮光部と透過率調整部となる周辺部とを有する任意形状のマスクパターン、及び高透過率位相シフターとなる任意形状の透光部をそれぞれ容易に実現できる。さらに、透光部と周辺部とが離間している場合、言い換えると、透光部と周辺部との間に位相調整膜を残しておく場合、パターン化された位相調整膜をマスクとして、透過性基板に対して自己整合的にエッチングを行なうことができるので、フォトマスク加工を正確に行なうことができる。 30

【0054】

第1のフォトマスクの作成方法において、第1の工程は、透過性基板の上に全面に亘って、露光光に対する透過率が透過性基板よりも低い透過率調整膜、及び周辺部を基準として露光光を反対位相で透過させる位相調整膜を順次形成した後、周辺部形成領域の位相調整膜を除去することによって、半遮光部形成領域の透過性基板上に、透過率調整膜及び位相調整膜からなる位相シフト膜を形成する工程を含み、第2の工程は、透光部形成領域の透過性基板を掘り下げる前に、透光部形成領域の位相調整膜及び透過率調整膜を順次除去する工程を含むことが好ましい。 40

【0055】

このようにすると、周辺部形成領域の透過性基板上に透過率調整膜が形成されるため、周辺部の透過率は透過性基板よりも低減され、周辺部は透過率調整部となる。すなわち、周辺部の透過率は透過率調整膜によって所望値に調整される。従って、周辺部の透過率がフォトマスク上で最も高くなることを回避できるので、周辺部に要求される微細化の程度を 50

低減できる。言い換えると、輪郭強調マスクにおける開口部の上限寸法が微小になってフォトマスク作成が困難になるという問題を防止することができる。また、透過性基板上に透過率調整膜及び位相調整膜を順次形成した後、位相調整膜、透過率調整膜及び透過性基板に対してそれぞれエッチングを行なうことによって、低透過率位相シフターとなる半遮光部と透過率調整部となる周辺部とを有する任意形状のマスクパターン、及び高透過率位相シフターとなる任意形状の透光部をそれぞれ容易に実現できる。さらに、周辺部形成領域の位相調整膜を除去する工程と、透光部形成領域の位相調整膜を除去する工程とを別々に行なうため、透光部形成領域と周辺部形成領域とが微小幅で離間している場合、つまり透光部と開口部との間に微小幅の位相調整膜を残しておく場合、フォトマスク加工のマージンを大きくできる。

10

【0056】

本発明に係る第2のフォトマスクの作成方法は、露光光に対して遮光性を有する半遮光部と、半遮光部により囲まれ且つ露光光に対して透光性を有する透光部と、半遮光部により囲まれ且つ透光部の周辺に位置する周辺部とを透過性基板上に備えたフォトマスクの作成方法である。具体的には、透過性基板の上に全面に亘って、周辺部を基準として露光光を反対位相で透過させる位相調整膜、及び露光光に対する透過率が透過性基板よりも低い透過率調整膜を順次形成する第1の工程と、周辺部形成領域の位相調整膜及び透過率調整膜を除去する第2の工程と、第2の工程よりも後に、透光部形成領域の透過率調整膜を除去する第3の工程とを備え、半遮光部形成領域の透過性基板上に形成された位相調整膜及び透過率調整膜は、露光光を部分的に透過させる透過率を有し且つ周辺部を基準として露光光を反対位相で透過させる位相シフト膜を構成する。

20

【0057】

第2のフォトマスクの作成方法によると、透過性基板上に位相調整膜及び透過率調整膜を形成した後、周辺部形成領域の位相調整膜及び透過率調整膜を除去し、その後、透光部形成領域の透過率調整膜を除去する。その結果、半遮光部形成領域の透過性基板上に、位相調整膜及び透過率調整膜からなる位相シフト膜、つまり露光光を部分的に且つ反対位相で透過させる位相シフト膜を形成できると共に、透光部形成領域の透過性基板上に位相調整膜の単層構造を形成できる。このため、高透過率位相シフターとなる透光部と、透光部と同位相で露光光を透過させる低透過率位相シフターとなる半遮光部とによって、透光部と反対位相で露光光を透過させる周辺部を挟むことができる。従って、透光部を透過する光と周辺部を透過する光との相互干渉により、透光部と周辺部との間の光強度分布のコントラストを強調できる。また、このコントラスト強調効果は、例えばポジ型レジストプロセスにおいて斜入射露光を用いて微細な孤立レジスト除去部（つまり透光部と対応する微細な孤立スペースパターン）を形成する場合にも得られる。すなわち、斜入射露光により、孤立スペースパターンと孤立ラインパターン又は密集パターンとを同時に微細化することができる。さらに、透過性基板上に位相調整膜及び透過率調整を順次形成した後、透過率調整膜及び位相調整膜に対してそれぞれエッチングを行なうことによって、低透過率位相シフターとなる半遮光部と周辺部とを有する任意形状のマスクパターン、及び高透過率位相シフターとなる任意形状の透光部をそれぞれ容易に実現できる。

30

【0058】

第1又は第2のフォトマスクの作成方法において、所定の透過率は6%以上で且つ15%以下であることが好ましい。

40

【0059】

このようにすると、パターン形成時におけるレジスト膜の膜減り等を防止しながら、本発明によるコントラスト強調効果を確実に得ることができる。

【0060】

【発明の実施の形態】

まず、本発明を実現する上で本願発明者が考案したフォトマスクによる解像度向上方法、具体的には、孤立スペースパターンの解像度を向上させるための「輪郭強調法」について説明する。

50

【0061】

(輪郭強調法)

以下、ポジ型レジストプロセスによりコンタクトパターンを形成する場合を例として説明する。尚、「輪郭強調法」は、ポジ型レジストプロセスにおける微小スペースパターンであれば、その形状に関わらず全く同様に成り立つ原理である。また、「輪郭強調法」は、ネガ型レジストプロセスを用いる場合も、ポジ型レジストプロセスにおける微小スペースパターン（レジスト除去パターン）を微小パターン（レジストパターン）と置き換えて考えれば全く同様に適用できる。

【0062】

図1(a)～(g)は、コンタクトパターンを形成するための露光において光の転写像の 10
コントラストを強調するための原理を説明する図である。

【0063】

図1(a)は、露光光に対して6%以上で且つ15%以下の透過率を持つ半遮光部により、コンタクトパターンと対応する開口部（つまり透光部）が囲まれてなるフォトマスクの平面図であり、図1(b)は、図1(a)に示すフォトマスクを透過した光における線分AA'と対応する振幅強度を示している。

【0064】

図1(c)は、図1(a)に示す開口部の周辺領域に位相シフターが配置され且つその他の領域に完全遮光部が配置されてなるフォトマスクの平面図であり、図1(d)は、図1(c)に示すフォトマスクを透過した光における線分AA'と対応する振幅強度を示して 20
いる。ここで、図1(d)に示す光の振幅強度は、該光が位相シフターを透過したものであるため、図1(b)に示す光の振幅強度に対して反対位相の関係にある。

【0065】

図1(e)は、露光光に対して6%以上で且つ15%以下の透過率を持つ半遮光部により、コンタクトパターンと対応する開口部及びその周辺領域に配置された位相シフターが囲まれてなるフォトマスクの平面図であり、図1(f)及び(g)は、図1(e)に示すフォトマスクを透過した光における線分AA'と対応する振幅強度及び光強度（光の振幅強度の2乗）を示している。図1(e)に示すフォトマスクは、図1(a)に示すフォトマスクにおける開口部の周辺領域に位相シフターが配置されたフォトマスクである。ここで、図1(e)に示すフォトマスクは、「輪郭強調法」を実現する本発明のフォトマスク（ 30
以下、輪郭強調マスクと称する）の一例である。

【0066】

尚、図1(a)又は(e)に示すフォトマスクにおいて、半遮光部を透過する光と、開口部を透過する光とは同位相（具体的には位相差が $(-30 + 360 \times n)$ 度以上で且つ $(30 + 360 \times n)$ 度以下（但しnは整数））である。また、図1(e)に示すフォトマスクにおいて、位相シフターを透過する光と、開口部を透過する光とは反対位相（具体的には位相差が $(150 + 360 \times n)$ 度以上で且つ $(210 + 360 \times n)$ 度以下（但しnは整数））である。

【0067】

図1(e)に示す輪郭強調マスクを透過した光の転写像が強調される原理は次の通りである。すなわち、図1(e)に示すフォトマスクの構造は、図1(a)及び(c)のそれぞれに示すフォトマスクを重ね合わせた構造になっている。従って、図1(b)、(d)、(f)に示すように、図1(e)に示すフォトマスクを透過した光の振幅強度は、図1(a)及び(c)のそれぞれに示すフォトマスクを透過した光の振幅強度を重ね合わせたような分布になっている。ここで、図1(f)から分かるように、図1(e)に示すフォトマスクにおいて、開口部の周辺に配置された位相シフターを透過した光は、開口部及び半遮光部のそれぞれを透過した光の一部を打ち消すことができる。従って、図1(e)に示すフォトマスクにおいて、位相シフターを透過する光の強度を、開口部周辺の光が打ち消されるように調整すれば、図1(g)に示すように、開口部周辺と対応する光強度がほぼ 0に近い値まで減少した光強度分布の形成が可能となる。 40
50

【0068】

また、図1(e)に示すフォトマスクにおいて、位相シフターを透過する光は、開口部周辺の光を強く打ち消す一方、開口部中央付近の光を弱く打ち消す。その結果、図1(g)に示すように、図1(e)に示すフォトマスクを透過した光における、開口部中央から開口部周辺に向けて変化する光強度分布のプロファイルの傾きが増大するという効果も得られる。従って、図1(e)に示すフォトマスクを透過した光の強度分布はシャープなプロファイルを有するようになるので、コントラストの高い像が形成される。

【0069】

以上が本発明における光学像（光強度の像（イメージ））を強調する原理である。すなわち、低透過率の半遮光部で形成されたマスクにおける開口部の輪郭に沿って位相シフターを配置することにより、図1(a)に示すフォトマスクによって形成される光強度像の中に、開口部の輪郭線と対応する非常に強い暗部を形成することが可能となる。これによって、開口部の光強度と開口部周辺の光強度との間でコントラストが強調された光強度分布を形成できる。本明細書においては、このような原理によってイメージ強調を行なう方法を「輪郭強調法」と称すると共に、この原理を実現するフォトマスクを「輪郭強調マスク」と称する。

【0070】

ここで、本発明の基本原理となる輪郭強調法と、従来のハーフトーン位相シフトマスクによる原理との違いについて説明する。輪郭強調法の原理において最も重要なことは、半遮光部及び開口部のそれぞれを透過する光の一部が位相シフターを透過する光に打ち消され、それによって光強度分布内に暗部を形成している点である。すなわち、位相シフターがあたかも不透明パターンのごとき振る舞いをするという点である。そのため、図1(f)に見られるように、輪郭強調マスクを透過した光の振幅強度において、同じ位相側での強度変化によって暗部が形成されている。後で詳しく説明するが、この状態のときのみ斜入射露光によってコントラストを向上させることが可能になる。

【0071】

一方、コンタクトパターンと対応する開口部を有する従来のハーフトーン位相シフトマスクを露光したときの光強度分布においても、図27(g)に示すように、開口部周辺に強い暗部が形成される。しかし、従来のハーフトーン位相シフトマスクを露光したときの光の振幅強度を表す図27(f)と、輪郭強調マスクを露光したときの光の振幅強度を表す図1(f)とを比べると、次のような違いが明らかに存在する。すなわち、図27(f)に示すように、ハーフトーン位相シフトマスクを露光した場合の振幅強度分布においては、位相反転が生じる位相境界が存在する。また、図27(g)に示すように、この位相境界が、位相端による光強度分布の暗部となってイメージ強調が実現されている。但し、位相端による暗部が形成されてコントラストの強調効果を得るためには、フォトマスクに対して垂直に入射する光の成分が必要となる。逆に、斜入射露光によっては位相境界が発生しても位相端による暗部は形成されず、その結果、コントラスト強調効果は得られない。これが、ハーフトーン位相シフトマスクに対して斜入射露光を行なってもコントラスト強調効果が生じない理由である。言い換えると、ハーフトーン位相シフトマスクによりコントラスト強調効果を得るためには、低干渉度の小さな光源を用いて露光を行なう必要がある。

【0072】

以上のように、コンタクトパターン形成において、ハーフトーン位相シフトマスクと輪郭強調マスクとはよく似た光強度分布を実現する一方、暗部形成原理の違い（輪郭強調マスクを透過した光の振幅強度分布には位相境界が生じない（図1(f)参照））により、輪郭強調法の場合、斜入射露光によっても微小な孤立スペースパターンの形成に必要な光の転写像を高いコントラストで形成できる。

【0073】

図2(a)は、コンタクトパターンと対応する開口部が位相シフターによって囲まれてなるハーフトーン位相シフトマスクの平面図であり、図2(b)は、図2(a)に示すハー

フトーン位相シフトマスクに対して干渉度 $\sigma = 0.4$ の小さな光源を用いて露光を行なった場合における線分 AA' と対応する光強度分布の計算結果を示しており、図 2 (c) は、図 2 (a) に示すハーフトーン位相シフトマスクに対して斜入射露光の 1 つである輪帯照明を用いて露光を行なった場合における線分 AA' と対応する光強度分布の計算結果を示している。ここで、輪帯照明としては、外径 $\sigma = 0.75$ 、内径 $\sigma = 0.5$ の 2/3 輪帯と呼ばれるものを用いた。また、露光条件としては、光源波長 $\lambda = 193 \text{ nm}$ (ArF 光源)、開口数 NA = 0.6 を用いた。さらに、コンタクト寸法は 180 nm 四方であり、位相シフターの透過率は 6 % である。尚、以下の説明においては、特に断らない限り、光強度を露光光の光強度を 1 としたときの相対光強度で表す。

【0074】

図 2 (b) 及び (c) に示すように、ハーフトーン位相シフトマスクを用いた場合、小さな光源による露光を行なったときの光強度分布においては位相端による暗部が形成されてコントラストの高い像が形成される一方、斜入射露光を行なったときの光強度分布においては位相端による暗部が形成されないために非常にコントラストの悪い像が形成される。

【0075】

図 2 (d) は、コンタクトパターンと対応する開口部と該開口部を囲む領域に位置する位相シフターとが、完全遮光部となるクロム膜により囲まれてなるエッジ強調型位相シフトマスクの平面図であり、図 2 (e) は、図 2 (d) に示すエッジ強調型位相シフトマスクに対して干渉度 $\sigma = 0.4$ の小さな光源を用いて露光を行なった場合における線分 AA' と対応する光強度分布の計算結果を示しており、図 2 (f) は、図 2 (e) に示すエッジ強調型位相シフトマスクに対して輪帯照明を用いて露光を行なった場合における線分 AA' と対応する光強度分布の計算結果を示している。ここで、エッジ強調型位相シフトマスクは、ハーフトーン位相シフトマスクと同様に、開口部と位相シフターとの間に位相端による暗部を形成してイメージ強調を実現するものである。また、輪帯照明の種類、露光条件及び位相シフターの透過率は、図 2 (a) ~ (c) に示すハーフトーン位相シフトマスクの場合と同様である。さらに、コンタクト寸法は 220 nm 四方であり、位相シフターの幅は 80 nm である。

【0076】

図 2 (e) 及び (f) に示すように、エッジ強調型位相シフトマスクを用いた場合、ハーフトーン位相シフトマスクと同様に、小さな光源による露光を行なったときの光強度分布においては位相端による暗部が形成されてコントラストの高い像が形成される一方、斜入射露光を行なったときの光強度分布においては位相端による暗部が形成されないために非常にコントラストの悪い像が形成される。

【0077】

次に、輪郭強調法において、斜入射露光成分によって高いコントラストが得られることを詳細に示す前に、図 1 (e) に示すような輪郭強調マスクの構造であっても、位相シフターの幅が過剰に大きくなると、輪郭強調法の効果が得られなくなることを説明しておく。

【0078】

図 3 (a) は、露光光に対して 6 % 以上で且つ 15 % 以下の透過率を持つ半遮光部により、コンタクトパターンと対応する開口部と該開口部を囲む領域に位置する小さい幅の位相シフターとが囲まれてなる輪郭強調マスクの平面図である。また、図 3 (b) は、図 3 (a) に示す輪郭強調マスクに対して干渉度 $\sigma = 0.4$ の小さな光源を用いて露光を行なった場合における線分 AA' と対応する光強度分布の計算結果を示しており、図 3 (c) は、図 3 (a) に示す輪郭強調マスクに対して輪帯照明を用いて露光を行なった場合における線分 AA' と対応する光強度分布の計算結果を示している。

【0079】

また、図 3 (d) は、露光光に対して 6 % 以上で且つ 15 % 以下の透過率を持つ半遮光部により、コンタクトパターンと対応する開口部と該開口部を囲む領域に位置する大きい幅の位相シフターとが設けられてなる輪郭強調マスクの平面図である。また、図 3 (e) は、図 3 (d) に示す輪郭強調マスクに対して干渉度 $\sigma = 0.4$ の小さな光源を用いて露光

を行なった場合における線分AA'と対応する光強度分布の計算結果を示しており、図3(f)は、図3(d)に示す輪郭強調マスクに対して輪帯照明を用いて露光を行なった場合における線分AA'と対応する光強度分布の計算結果を示している。

【0080】

ここで、図3(d)に示す輪郭強調マスクにおける位相シフターの幅は輪郭強調法の原理が成り立たないほど過剰に大きく設定されているものとする。具体的には、図3(a)及び図3(d)に示す開口部の寸法は共に220nm四方であり、図3(a)に示す位相シフターの幅は60nmであり、図3(d)に示す位相シフターの幅は150nmである。また、輪帯照明の種類及び露光条件は、図2(a)～(c)に示すハーフトーン位相シフトマスクの場合と同様である。

10

【0081】

図3(b)及び(c)に示すように、輪郭強調法の原理が成り立つ図3(a)に示す輪郭強調マスクを用いた場合、位相シフターの不透明化作用による暗部は光源の種類によらず現れていると共に光強度分布におけるコントラストは輪帯照明によってより高い値が得られている。

【0082】

一方、位相シフターが過剰に大きい図3(d)に示す輪郭強調マスクを用いた場合、位相シフターを透過する光が強くなりすぎるため、振幅強度分布において反対位相の強度分布が形成されてしまう。このような状況では、ハーフトーン位相シフトマスク又はエッジ強調型位相シフトマスクと同様の原理が作用する。すなわち、図3(e)及び(f)に示すように、小さな光源による露光を行なったときの光強度分布においては位相端による暗部が形成されてコントラスト強調効果が現れる一方、斜入射露光を行なったときの光強度分布においては位相端による暗部が形成されないために非常にコントラストの悪い像が形成される。

20

【0083】

すなわち、輪郭強調法を実現するためには、マスク構造において、半遮光部に囲まれた開口部の周辺に位相シフターが配置されているだけではなく、その位相シフター内を透過する光が制限されている必要がある。後者の方は、原理的なメカニズムによれば、位相シフターを透過する光が、半遮光部及び開口部のそれぞれを透過する光を打ち消す以上の強度を有し、且つその振幅強度分布において一定の大きさ以上の反対位相の強度分布が形成され

30

【0084】

実際に位相シフターを透過する光を制限するために、位相シフターの透過率に応じてその幅に条件(具体的には上限)を設ける方法を用いることができる。以下、この条件について、位相シフターを透過する光によって位相シフター周辺からの光を打ち消すための条件を考察した結果(図4(a)及び(b)参照)を用いて説明する。

【0085】

図4(a)に示すように、透過性基板上に透過率T、線幅Lの位相シフターが設けられたフォトリソマスク(位相シフターマスク)を用いた露光において、被露光材料上における位相シフターの中心と対応する位置に生じる光強度を $I_h(L, T)$ とする。また、位相シフターマスクの位相シフターに代えて完全遮光部が設けられたフォトリソマスク(遮光マスク)を用いた露光において、被露光材料上における完全遮光部の中心と対応する位置に生じる光強度を $I_c(L)$ とする。また、位相シフターマスクの位相シフターに代えて開口部(透光部)が設けられ、且つ位相シフターマスクの透光部に代えて完全遮光部が設けられたフォトリソマスク(透過マスク)を用いた露光において、被露光材料上における開口部の中心と対応する位置に生じる光強度を $I_o(L)$ とする。

40

【0086】

図4(b)は、図4(a)に示す位相シフターマスクを用いた露光において位相シフターの透過率T及び線幅Lを色々変化させた場合における光強度 $I_h(L, T)$ のシミュレーション結果を、透過率T及び線幅Lをそれぞれ縦軸及び横軸に取って光強度の等高線で表

50

した様子を示している。ここで、 $T = I_c(L) / I_o(L)$ の関係を表すグラフを重ね書きしている。また、シミュレーション条件は、露光光の波長 $\lambda = 0.193 \mu\text{m}$ (ArF光源)、露光機の投影光学系の開口数 $NA = 0.6$ 、露光光源の干渉度 $\sigma = 0.8$ (通常光源) である。

【0087】

図4(b)に示すように、光強度 $I_h(L, T)$ が最小となる条件は $T = I_c(L) / I_o(L)$ の関係で表すことができる。これは、物理的には、位相シフター内を透過する光の光強度を表す $T \times I_o(L)$ と、位相シフター外を透過する光の光強度 $I_c(L)$ とが釣り合う関係を表している。従って、位相シフター内を透過する光が過剰となって振幅強度分布において反対位相の振幅強度が現れる位相シフターの幅 L は、 $T \times I_o(L)$ が $I_c(L)$ よりも大きくなる幅 L ということになる。

【0088】

また、光源の種類によって多少の違いはあるが、透過率1の位相シフター内を透過する光が位相シフター外を透過する光と釣り合うときの幅 L は $0.3 \times \lambda$ (光源波長) / NA (開口数) 程度 (図4(b)の場合で 100 nm 程度) であることが、種々のシミュレーション結果から経験的に得られた。さらに、図4(b)から分かるように、6% (0.06) 以上の透過率を有する位相シフター内を光が過剰に透過することを防止するためには、透過率100% (1.0) の位相シフターの場合と比べて幅 L を2倍以下にする必要がある。すなわち、6%以上の透過率を有する位相シフター内を光が過剰に透過することを防止するためには、位相シフターの幅 L の上限は $0.6 \times \lambda / NA$ 以下でなければならない。

【0089】

以上の考察を輪郭強調マスクに当てはめると、輪郭強調マスクにおいては位相シフター外を透過する光としては、実質的に位相シフターの両側ではなく片側のみを考慮すればよいので、輪郭強調マスクにおける位相シフターの幅 L の上限は上記の考察による上限の半分と考えればよい。従って、輪郭強調マスクにおける位相シフターの幅 L の上限は、位相シフターの透過率が6%以上の場合で $0.3 \times \lambda / NA$ 以下である。但し、これは十分条件ではなく、位相シフターの透過率の高さに応じて、位相シフターの幅 L の上限を $0.3 \times \lambda / NA$ よりも小さくする必要がある。すなわち、位相シフターの透過率が100%又は50%以上の高透過率である場合、位相シフターの幅 L を $0.2 \times \lambda / NA$ 以下、好ましくは $0.15 \times \lambda / NA$ 以下にする必要がある。また、微細なホールパターンの形成においては、位相シフターを透過する光と、ホールパターンと対応する透光部を透過する光との干渉によって光強度分布のプロファイルを強調する効果を得るためには、位相シフターは、透光部つまりホールの中心からの距離が $0.5 \times \lambda / NA$ 以下の領域に配置されることが好ましい。よって、位相シフターの幅 L を $0.3 \times \lambda / NA$ 以下にする場合、ホールパターン形成においては、ホールパターンと対応する透光部の中心からの距離が $0.5 \times \lambda / NA \sim 0.8 \times \lambda / NA$ 以下の範囲に、透光部を囲む位相シフターが存在することが好ましい。

【0090】

尚、本明細書においては、特に断らない限り、位相シフター幅等の種々のマスク寸法を被露光材料上での寸法に換算して表すこととするが、マスク実寸法は換算寸法に露光機の縮小投影光学系の縮小倍率 M を乗ずることにより簡単に求めることができる。

【0091】

次に、輪郭強調法において斜入射露光によってイメージ強調が実現されることを、輪郭強調マスクに対して様々な光源位置から露光を行なった場合における光強度分布のコントラストの変化に基づいて詳細に説明する。

【0092】

図5(a)は輪郭強調マスクの一例の平面図である。ここで、半遮光部の透過率は7.5%であり、位相シフター及び開口部の透過率は100%である。また、開口部の寸法は 200 nm 四方であり、位相シフターの幅は 50 nm である。

【0093】

図5(c)は、図5(a)に示す輪郭強調マスクに対して、開口数NAで規格化された様々な光源位置の点光源から露光を行なった場合における図5(a)の線分AA'と対応する光強度分布を光学シミュレーションにより計算して、該計算結果(例えば図5(b)に示されるような光強度分布)における開口部中央に相当する位置の光強度 I_o を読み取り、該光強度 I_o を各光源位置に対してプロットした結果を示している。ここでは、光源波長 λ が193nm(ArF光源)、開口数NAが0.6として光学計算によるシミュレーションを行なった結果を示している。尚、以下の説明では特に断らない限り、光学シミュレーションにおいて波長 $\lambda=193$ nm(ArF光源)、開口数NA=0.6の条件で計算を行なうものとする。

10

【0094】

図5(c)に示すように、開口部中央の光強度 I_o は外側の光源位置(図5(c)の原点から遠い光源位置)の点光源で露光される程大きくなる。すなわち、斜入射成分の強い光源で露光される程、コントラストが強くなることが分かる。図面を参照しながら具体的に説明する。図5(d)、(e)、(f)は、図5(c)に示す各点光源のサンプル点P1、P2、P3のそれぞれにおける、図5(a)の線分AA'と対応する光強度分布をプロットしたものである。図5(d)、(e)、(f)に示すように、点光源の位置が外側になるに従って、言い換えると、大きい斜入射光源位置になるに従って、高いコントラストの像が形成されている。

20

【0095】

次に、比較のために、ハーフトーン位相シフトマスクに対して様々な光源位置から露光を行なった場合における光強度分布のコントラストの変化について説明する。図6(a)はハーフトーン位相シフトマスクの一例の平面図である。ここで、位相シフターの透過率は6%であり、開口部の透過率は100%である。また、開口部の寸法(被露光ウェハ上換算)は180nm四方である。

【0096】

図6(c)は、図6(a)に示すハーフトーン位相シフトマスクに対して、開口数NAで規格化された様々な光源位置の点光源から露光を行なった場合における図6(a)の線分AA'と対応する光強度分布を光学シミュレーションにより計算して、該計算結果(例えば図6(b)に示されるような光強度分布)における開口部中央に相当する位置の光強度 I_o を読み取り、該光強度 I_o を各光源位置に対してプロットした結果を示している。

30

【0097】

図6(c)に示すように、開口部中央の光強度 I_o は内側の光源位置(図6(c)の原点に近い光源位置)の点光源で露光される程大きくなる。すなわち、垂直入射成分の強い光源で露光される程、コントラストが強くなることが分かる。図面を参照しながら具体的に説明する。図6(d)、(e)、(f)は、図6(c)に示す各点光源のサンプル点P1、P2、P3のそれぞれにおける、図6(a)の線分AA'と対応する光強度分布をプロットしたものである。図6(d)、(e)、(f)に示すように、点光源の位置が内側になるに従って、言い換えると、垂直入射光源位置になるに従って、高いコントラストの像が形成されている。

40

【0098】

以上に説明した、図5(a)～(f)に示す結果と図6(a)～(f)に示す結果とを見比べても分かるように、輪郭強調法は、コンタクトパターン等の微小な孤立スペースパターンの形成において、従来方法では実現できなかった、斜入射露光による光強度分布のコントラスト強調を可能とするものである。

【0099】

ここまで輪郭強調マスクによってコントラストが向上することを説明してきたが、次に、輪郭強調マスクにおける半遮光部の透過率に対するコントラスト及びDOFの依存性について説明する。ここでは、図7(a)に示す輪郭強調マスクを用いて、パターン形成における各種マージンをシミュレーションした結果に基づいた説明を行なう。図7(b)は、

50

図7 (a) に示す輪郭強調マスクに対して露光を行なったときに形成される光強度分布を示している。図7 (b) においては、図7 (a) に示す輪郭強調マスクを用いて幅100 nmのホールパターンを形成しようとした場合に定義される各種のマージンに関する値も図中に示している。具体的には、臨界強度 I_{th} はレジスト膜が感光する光強度であり、この値に対して各種のマージンが定義される。例えば I_p を光強度分布のピーク値とすると、 I_p / I_{th} はレジスト膜を感光させる感度に比例する値となり、この値が高いほど好ましい。また、 I_b を半遮光部を透過する光のバックグラウンド強度とすると、 I_{th} / I_b が高いほどパターン形成時にレジスト膜の膜減り等が発生しないことを意味し、この値が高いほど好ましい。一般に I_{th} / I_b の値は2以上あることが望まれている。以上のことを踏まえて各マージンについて説明する。

10

【0100】

図7 (c) は、図7 (a) に示す輪郭強調マスクを用いたパターン形成時における半遮光部の透過率に対するDOFの依存性について計算した結果を示している。ここで、DOFは、パターンの仕上がり寸法の変化が10%以内に収まるフォーカス位置の幅として定義してある。図7 (c) に示すように、DOFの向上には半遮光部の透過率が高いほど好ましい。また、図7 (d) は、図7 (a) に示す輪郭強調マスクを用いたパターン形成時における半遮光部の透過率に対するピーク値 I_p について計算した結果を示している。図7 (d) に示すように、ピーク値 I_p 、つまりコントラストの向上にも半遮光部の透過率が高いほど好ましい。以上の結果から、輪郭強調マスクにおいては、半遮光部の透過率が高いほど好ましく、具体的には、図7 (c) 及び (d) に示すように、透過率が0%から6%程度まで上がる間に露光マージンの向上率が大きくなっており、透過率が6%以上の半遮光部を用いることが好ましいことが理解できる。

20

【0101】

図7 (e) は、図7 (a) に示す輪郭強調マスクを用いたパターン形成時における半遮光部の透過率に対する I_{th} / I_b について計算した結果を示している。図7 (e) に示すように、 I_{th} / I_b は半遮光部の透過率が高くなるほど低くなっており、半遮光部の透過率が高くなりすぎると I_{th} / I_b の向上には好ましくない。具体的には、半遮光部の透過率が15%程度で I_{th} / I_b は2よりも小さくなってしまふ。また、図7 (f) は、図7 (a) に示す輪郭強調マスクを用いたパターン形成時における半遮光部の透過率に対する I_p / I_{th} について計算した結果を示している。図7 (f) に示すように、半遮光部の透過率が15%程度のところに I_p / I_{th} はピークを持っている。

30

【0102】

以上に説明したように、輪郭強調マスクにおいては、DOF又はコントラストは半遮光部の透過率を高くするほど向上し、その効果は半遮光部の透過率が6%を越えるとより顕著になる。一方、パターン形成時におけるレジスト膜の膜減り防止、又はレジスト感度の最適化等の観点からは、半遮光部の透過率の最大値は15%程度にしておくことが好ましい。従って、輪郭強調マスクにおける半遮光部の透過率の最適値は6%以上で且つ15%以下であると言える。すなわち、半遮光部は、レジストを感光させない程度に露光光を部分的に透過させるものである。言い換えると、半遮光部は、全露光量のうちの一部分を透過させる。このような半遮光部の材料としては、 $ZrSiO_4$ 、 $CrAlO_3$ 、 $TaSiO_3$ 、 $MoSiO_3$ 又は $TiSiO_2$ 等の酸化物を用いることができる。

40

【0103】

図8 (a) ~ (f) は、コンタクトパターンと対応する開口部が設けられた輪郭強調マスクにおける、半遮光部と位相シフターとによって構成される遮光性のマスクパターンのバリエーションを示す平面図である。

【0104】

図8 (a) に示す輪郭強調マスク1aは、図1 (e) に示す輪郭強調マスクと同じ構成を有している。すなわち、輪郭強調マスク1aは透過性基板2aを用いたフォトマスクであって、露光光の一部を透過させる透過率を持つ半遮光部3aと、半遮光部3aにより囲まれ且つ孤立コンタクトパターンと対応する開口部4aと、開口部4aの周辺に位置するリ

50

ング状の位相シフター 5 a とを備えている。

【0105】

図8 (b) に示す輪郭強調マスク 1 b は透過性基板 2 b を用いたフォトマスクであって、露光光の一部を透過させる透過率を持つ半遮光部 3 b と、半遮光部 3 b により囲まれ且つ孤立コンタクトパターンと対応する開口部 4 b と、開口部 4 b の各辺と同一長さを有し且つ該各辺と接する矩形状の 4 つの位相シフター部からなる位相シフター 5 b とを備えている。この輪郭強調マスク 1 b は、孤立パターン形成において輪郭強調マスク 1 a とほとんど同じ特性を有している。

【0106】

図8 (c) に示す輪郭強調マスク 1 c は透過性基板 2 c を用いたフォトマスクであって、露光光の一部を透過させる透過率を持つ半遮光部 3 c と、半遮光部 3 c により囲まれ且つ孤立コンタクトパターンと対応する開口部 4 c と、開口部 4 c の各辺の長さよりも短い長さを有し且つ該各辺と接する矩形状の 4 つの位相シフター部からなる位相シフター 5 c とを備えている。位相シフター 5 c の各位相シフター部の中央と開口部 4 c の各辺の中央とは位置合わせされている。この輪郭強調マスク 1 c においては、開口部 4 c の幅 (大きさ) を固定して位相シフター 5 c の各位相シフター部の長さを変更することによって、露光後に形成されるレジストパターンの寸法調整を行なうことができる。例えば、位相シフター 5 c の各位相シフター部の長さを短くするほど、レジストパターンの寸法は大きくなる。ここで、輪郭強調の作用を保つために位相シフター 5 c の各位相シフター部の長さを変更できる下限は、光源 (露光光) 波長の半分程度までに限定される一方、マスク寸法の変更量の半分程度しかパターン寸法が変化しないので、位相シフター部の長さを調整することは、パターン寸法調整方法として非常に優れた方法となる。

【0107】

図8 (d) に示す輪郭強調マスク 1 d は透過性基板 2 d を用いたフォトマスクであって、露光光の一部を透過させる透過率を持つ半遮光部 3 d と、半遮光部 3 d により囲まれ且つ孤立コンタクトパターンと対応する開口部 4 d と、半遮光部 3 d と開口部 4 d との境界から所定の寸法だけ半遮光部 3 d 側に入った所に位置するリング状の位相シフター 5 d とを備えている。すなわち、位相シフター 5 d と開口部 4 d との間にはリング状の半遮光部 3 d が介在している。

【0108】

図8 (e) に示す輪郭強調マスク 1 e は透過性基板 2 e を用いたフォトマスクであって、露光光の一部を透過させる透過率を持つ半遮光部 3 e と、半遮光部 3 e により囲まれ且つ孤立コンタクトパターンと対応する開口部 4 e と、半遮光部 3 e と開口部 4 e との境界から所定の寸法だけ半遮光部 3 e 側に入った所に位置する位相シフター 5 e とを備えている。位相シフター 5 e は、開口部 4 e の各辺の長さよりも長い矩形状をそれぞれ有し且つ開口部 4 e の対角線上で互いの角部が接する 4 つの位相シフター部からなる。ここで、位相シフター 5 e と開口部 4 e との間には、リング状の半遮光部 3 e が介在している。輪郭強調マスク 1 e においては、位相シフター 5 e の大きさ及び配置を固定して開口部 4 e の幅 (大きさ) のみを変更することによって、露光後に形成されるレジストパターンの寸法調整を行なうことができる。例えば、開口部 4 e の幅を大きくするに従ってレジストパターンの寸法も大きくなる。この開口部の幅のみを変更するパターン寸法調整方法によれば、開口部及び位相シフターの両方を同時にスケールリングしてパターン寸法の調整を行なう方法と比べて、MEEF (Mask Error Enhancement Factor : マスク寸法変化量に対するパターン寸法変化量の比) を半分程度まで低減することができる。

【0109】

図8 (f) に示す輪郭強調マスク 1 f は透過性基板 2 f を用いたフォトマスクであって、露光光の一部を透過させる透過率を持つ半遮光部 3 f と、半遮光部 3 f により囲まれ且つ孤立コンタクトパターンと対応する開口部 4 f と、半遮光部 3 f と開口部 4 f との境界から所定の寸法だけ半遮光部 3 f 側に入った所に位置する位相シフター 5 f とを備えている

。位相シフター 5 f は、開口部 4 f の各辺の長さと同じ長さの矩形状をそれぞれ有し且つ開口部 4 f の各辺と対向する 4 つの位相シフター部からなる。ここで、位相シフター 5 f の各位相シフター部の長さは、開口部 4 f の各辺の長さよりも長くても短くても良い。輪郭強調マスク 1 f によれば、図 8 (c) に示す輪郭強調マスク 1 c と同様にレジストパターンの寸法調整を行なうことができる。

【0110】

尚、図 8 (d) ~ (f) に示す輪郭強調マスクにおいて、M E E F の低減効果を大きくするためには、開口部と位相シフターとの間の半遮光部の幅は、 λ / NA (λ は露光光の波長、NA は開口数) の 5 分の 1 程度以下であることが望ましい。また、D O F の向上効果を得るためには、前述の半遮光部の幅は、位相シフターによる光の干渉効果を及ぼすことができる寸法、つまり λ / NA の 10 分の 1 程度以下であることが望ましい。また、図 8 (a) ~ (f) に示す輪郭強調マスクにおいて、開口部の形状として正方形を用いたが、例えば八角形のような多角形又は円形等であってもよい。また、位相シフターの形状も、連続したリング形状又は複数個の長方形に限られない。例えば、複数個の正方形の位相シフター部を並べることによって位相シフターを形成してもよい。

【0111】

また、ここまで、ポジ型レジストプロセスを前提として、輪郭強調マスクにおけるレジスト除去部と対応する部分を開口部と定義して全ての説明を行ってきた。しかし、十分に高い透過率を有する位相シフターを利用できる場合、以上の説明に用いてきた輪郭強調マスクにおいて、開口部と定義してきた部分を透過率の高い位相シフターに置き換え、位相シフターと定義してきた部分を開口部に置き換え、半遮光部と定義してきた部分を透過率の低い位相シフター (例えばハーフトーン位相シフトマスクの位相シフター) に置き換えても、各構成要素間の相対位相差の関係は同じなので、同様の効果を有する輪郭強調マスクを実現できる。図 9 (a) ~ (f) は、コンタクトパターンと対応する高透過率位相シフターが設けられた輪郭強調マスクにおける、低透過率位相シフターと開口部とによって構成される遮光性のマスクパターンのバリエーションを示す平面図である。図 9 (a) ~ (f) に示すマスクは、図 8 (a) ~ (f) に示すマスクにおける開口部、位相シフター及び半遮光部をそれぞれ高透過率位相シフター、開口部及び低透過率位相シフターに置き換えた構成を有している。ここで、高透過率位相シフターは、60%以上の透過率を持つことが好ましい。すなわち、低透過率位相シフターによって高透過率位相シフターが囲まれたマスク構造において、低透過率位相シフターがレジスト膜の非感光部と対応すると共に高透過率位相シフターがレジスト膜の感光部と対応するためには、高透過率位相シフターの透過率としては、低透過率位相シフターの透過率の最低でも 3 倍程度の値、好ましくは 10 倍程度の値が必要である。従って、低透過率位相シフターの透過率が 6 ~ 15% であるのに対して、高透過率位相シフターの透過率は 60% 以上であることが望まれる。以下の各実施形態では、図 9 (a) ~ (f) に示すような輪郭強調マスクを対象とする。

【0112】

(第 1 の実施形態)

以下、本発明の第 1 の実施形態に係るフォトマスク、その作成方法、及びそのフォトマスクを用いたパターン形成方法について、図面を参照しながら説明する。尚、第 1 の実施形態に係るフォトマスクは、前述の輪郭強調法を実現するための縮小投影露光システムのフォトマスクである。

【0113】

図 10 (a) は、第 1 の実施形態に係るフォトマスクを用いて形成しようとする所望のパターンの一例を示している。

【0114】

ところで、露光機の縮小投影光学系の縮小倍率を M とすると、通常のフォトマスクにおいては、露光光に対して完全遮光膜となるクロム等の材料を用いて、所望のパターン (一般にはウェハ上での設計値を持つ) の M 倍の大きさのパターンが、露光光に対して高い透過率を有する材料からなる基板 (透過性基板) の上に描かれている。しかしながら、本明細

書においては、特に断らない限り、簡単のため、フォトマスクについて説明する場合にも、ウェハ上の寸法をM倍したマスク上の寸法は使わずに、ウェハ上の寸法を用いて説明する。また、本実施形態でパターン形成について説明する場合、特に断らない限り、ポジ型レジストプロセスを使用する場合を想定して説明する。すなわち、レジスト膜の感光部分が除去されるということを想定して説明する。一方、ネガ型レジストプロセスの使用を想定する場合、レジスト膜の感光部分がレジストパターンとなることを除いて、ポジ型レジストプロセスの使用を想定した説明と全く同じことになる。また、本実施形態においては、特に断らない限り、透過率を、透過性基板の透過率を100%としたときの実効透過率で表す。

【0115】

図10(b)は、第1の実施形態に係るフォトマスク、具体的には、図10(a)に示す所望のパターンを形成するためのフォトマスクの平面図である。図10(b)に示すように、所望のパターンにおけるレジスト除去部に対応するように高透過率位相シフター（透光部）が設けられている。また、高透過率位相シフターを囲む遮光性のマスクパターンとして、露光光を完全に遮光する完全遮光部に代えて、レジスト膜を感光させない程度の低透過率（6～15%程度）を有する低透過率位相シフター（半遮光部）を用いている。さらに、高透過率位相シフターの近傍には、低透過率位相シフターのない微小幅の開口部（周辺部）が設けられている。高透過率位相シフター及び低透過率位相シフターは露光光を互いに同位相で透過させる一方、開口部は、高透過率位相シフター及び低透過率位相シフターを基準として露光光を反対位相で透過させる。

【0116】

尚、第1の実施形態においては、開口部の配置方法として、例えば図9(b)に示すような、矩形状の高透過率位相シフターの各辺から所定の寸法以下の領域に該各辺と接するように開口部を配置する形式を採用している。

【0117】

図10(c)は、図10(b)におけるAA'線の断面図、つまり第1の実施形態に係るフォトマスクの断面図である。図10(c)に示すように、図10(b)に示すフォトマスクは以下のようにして実現されている。すなわち、透過性基板10における低透過率位相シフター（半遮光部）形成領域の上に、レジスト膜を感光させない程度の低透過率（6～15%程度）を持つと共に透過性基板10（開口部）との間で露光光に対して180度（実際には $(150 + 360 \times n)$ 度以上で且つ $(210 + 360 \times n)$ 度以下（但しnは整数））の位相差を生じる位相シフト膜11を形成し、それによって低透過率位相シフターを形成する。また、透過性基板10における透光部形成領域を、透過性基板10（開口部）との間で露光光に対して180度（実際には $(150 + 360 \times n)$ 度以上で且つ $(210 + 360 \times n)$ 度以下（但しnは整数））の位相差を生じる厚さだけ掘り下げる。これにより、透過性基板10の掘り下げ部10aによって、高透過率位相シフターとなる透光部が形成される。従って、高透過率位相シフター（透光部）と、位相シフト膜11からなる低透過率位相シフター（半遮光部）とによって、位相シフト膜11のない（透過性基板10の表面が露出した）周辺部つまり開口部が挟まれる構造となって輪郭強調マスクが実現されている。位相シフト膜11としては、 $ZrSiO_4$ 、 $CrAlO_3$ 、 $TaSiO_4$ 、 $MoSiO_3$ 又は $TiSiO_2$ 等からなる金属含有酸化膜を用いることができる。但し、輪郭強調法によるコントラスト強調を得るためには、開口部幅を所定の寸法以下に制限する必要がある。

【0118】

ところで、以上の説明においては、図11(a)に示すように、低透過率位相シフターとなる位相シフト膜11が単層膜であることを前提としてきた。この場合、位相シフト膜11の光学定数は膜材料によって決まるので、位相シフト膜11の膜厚は位相シフト量によって決まってしまう。一方、透過率は光学定数のみならず膜厚にも依存するので、位相シフト膜11の材料として、適切な光学定数を持つ材料、具体的には、透過性基板10（開口部）を基準として反対位相で露光光を透過させる膜厚において所定の透過率をちょうど

実現できる材料が必ずしも存在するとは限らない。従って、第1の実施形態に係るフォトマスクにおいて、図11(b)に示すように、位相シフト膜11が、低透過率の透過率調整膜11Aと高透過率の位相調整膜11Bとが順次積層された2層構造を有する方が、位相シフト膜11において任意の透過率を実現する上では好ましい。具体的には、透過率調整膜11Aにおける露光光に対する透過率は透過性基板10よりも低い。また、位相調整膜11Bは、透過性基板10(開口部)を基準として反対位相で露光光を透過させる。透過率調整膜11Aとしては、例えばZr、Cr、Ta、Mo若しくはTi等の金属からなる薄膜(厚さ30nm以下)又は例えばTa-Cr合金、Zr-Si合金、Mo-Si合金若しくはTi-Si合金等の金属合金からなる薄膜(厚さ30nm以下)を用いることができる。また、位相調整膜11Bとしては、例えばSiO₂膜等の酸化膜を用いることができる。 10

【0119】

尚、本明細書において、透過率調整膜とは、露光光に対する単位厚さ当たりの透過率が相対的に低く、且つ露光光に対する位相変化に影響を与えることなく厚さの調節により露光光に対する透過率を所望値に設定できる膜を意味する。また、位相調整膜とは、露光光に対する単位厚さ当たりの透過率が相対的に高く、且つ露光光に対する透過率変化に影響を与えることなく厚さの調節により透過性基板(開口部)との間での露光光に対する位相差を所望値に設定できる膜を意味する。

【0120】

次に、第1の実施形態に係るフォトマスクを用いたパターン形成方法について説明する。 20
ここで、露光機を用いてマスクパターンの縮小転写を行なうときに、輪郭強調法の原理において説明したように、輪郭強調マスクによってコントラストの高い像を形成するために斜入射露光光源を用いるのがよい。ここで、斜入射露光光源とは、図12(a)に示すような通常露光光源に対して、垂直入射成分が取り除かれた、図12(b)~(d)に示すような光源のことを意味する。代表的な斜入射露光光源としては、図12(b)に示す輪帯露光光源、及び図12(c)に示す四重極露光光源がある。目的のパターンに若干依存するが、一般に、輪帯露光光源よりも四重極露光光源の方がコントラストの強調又はDOFの拡大において効果的である。しかし、四重極露光においてはパターン形状がマスク形状に対して歪むなどの副作用もあるので、そのような場合には、図12(d)に示す輪帯-四重極混成型露光光源を用いることが望ましい。この輪帯-四重極混成型露光光源の特徴は、光源中心(通常露光光源の中心)を原点としてXY座標で考えたときに、光源中心とXY軸上の光源とが取り除かれていることによって四重極の特徴を有する点と、光源の外形として円形が採用されていることにより輪帯の特徴をも有する点とである。 30

【0121】

図13(a)~(d)は第1の実施形態に係るフォトマスクを用いたパターン形成方法の各工程を示す断面図である。

【0122】

まず、図13(a)に示すように、基板100上に、金属膜又は絶縁膜等の被加工膜101を形成した後、図13(b)に示すように、被加工膜101の上に、ポジ型のレジスト膜102を形成する。 40

【0123】

次に、図13(c)に示すように、位相シフト膜11よりなる低透過率位相シフターと、掘り下げ部10aにより高透過率位相シフターとして機能する透光部とを備えた、第1の実施形態に係るフォトマスクに対して、斜入射露光光源を用いて露光光103を照射し、該フォトマスクを透過した透過光104によってレジスト膜102を露光する。このとき、マスクパターンとして、低透過率位相シフター(半遮光部)を用いているため、レジスト膜102の全体が弱いエネルギーで露光される。しかし、図13(c)に示すように、現像工程でレジスト膜102が溶解するに足る露光エネルギーが照射されるのは、レジスト膜102におけるフォトマスクの透光部(掘り下げ部10a)と対応する潜像部分102aのみである。 50

【0124】

次に、レジスト膜102に対して現像を行なって潜像部分102aを除去することにより、図13(d)に示すように、レジストパターン105を形成する。このとき、図13(c)に示す露光工程において、透光部周辺の光が打ち消される結果、レジスト膜102における開口部(周辺部)と対応する部分にはほとんど露光エネルギーが照射されないの、透光部を透過する光と周辺部を透過する光との間の光強度分布のコントラスト、言い換えると、潜像部分102aに照射される光と潜像部分102aの周辺に照射される光との間の光強度分布のコントラストを強調できる。従って、潜像部分102aにおけるエネルギー分布も急激に変化するので、シャープな形状を有するレジストパターン105が形成される。

10

【0125】

次に、第1の実施形態に係るフォトマスクの作成方法について図面を参照しながら説明する。

【0126】

図14(a)～(e)は第1の実施形態に係るフォトマスクの作成方法の各工程を示す断面図であり、図14(f)は図14(c)の断面図と対応する平面図を示しており、図14(g)は図14(e)の断面図と対応する平面図を示している。

【0127】

まず、図14(a)に示すように、露光光に対して透過性を持つ材料、例えば石英等よりなる透過性基板10の上に、露光光に対して所定の透過率(例えば6～15%)を持つ位相シフト膜11を形成する。位相シフト膜11としては、ZrSiO、CrAlO、TaSiO、MoSiO又はTiSiO等からなる金属含有酸化膜を用いることができる。また、位相シフト膜11は、透過性基板10(開口部)との間で露光光に対して $(150 + 360 \times n)$ 度以上で且つ $(210 + 360 \times n)$ 度以下(但しnは整数)の位相差を生じる。ここで、位相シフト膜11が、前述のような、透過率調整膜と位相調整膜との2層構造を有していてもよい。

20

【0128】

次に、図14(b)に示すように、透過性基板10の上に、低透過率位相シフター(半遮光部)形成領域を覆う第1のレジストパターン12、つまり、高透過率位相シフター(透光部)形成領域及び開口部(周辺部)形成領域のそれぞれに除去部を有する第1のレジストパターン12を形成する。その後、第1のレジストパターン12をマスクとして、位相シフト膜11に対してエッチングを行なって位相シフト膜11をパターン化した後、第1のレジストパターン12を除去する。これにより、図14(c)及び図14(f)に示すように、位相シフト膜11における高透過率位相シフター形成領域及び開口部形成領域のそれぞれと対応する部分が除去される。

30

【0129】

次に、図14(d)に示すように、透過性基板10の上に、低透過率位相シフター形成領域及び開口部形成領域を覆う第2のレジストパターン13、つまり高透過率位相シフター形成領域に除去部を有する第2のレジストパターン13を形成する。その後、第2のレジストパターン13をマスクとして、透過性基板10に対してエッチングを行なった後、第2のレジストパターン13を除去する。これにより、図14(e)及び図14(g)に示すように、透過性基板10における高透過率位相シフター形成領域と対応する部分に、 180 度(具体的には $(150 + 360 \times n)$ 度以上で且つ $(210 + 360 \times n)$ 度以下(但しnは整数))の位相反転が生じる掘り下げ部10aが形成されて、第1の実施形態に係るフォトマスクが完成する。すなわち、輪郭強調マスクの平面構造を有する第1の実施形態に係るフォトマスクは、マスクブランクとして、位相シフト膜を堆積させた透過性基板、つまり従来のハーフトーン位相シフトマスクと同様の基板を用意し、その後、位相シフト膜及び透過性基板に対して順次エッチングを行なうことによって容易に形成できる。

40

【0130】

50

以上に説明したように、第1の実施形態によると、透過性基板10における低透過率位相シフター（半遮光部）形成領域の上に、露光光を低透過率で位相反転させて透過させる位相シフト膜11が形成されている。また、透過性基板10における透光部形成領域が露光光に位相反転が生じる厚さだけ掘り下げられて透光部が形成されている。このため、掘り下げ部10aにより高透過率位相シフターとして機能する透光部と、該透光部と同位相で露光光を透過させ且つ位相シフト膜11からなる低透過率位相シフターとによって、位相シフト膜11のない開口部、つまり透光部と反対位相で露光光を透過させる周辺部が挟まれる。その結果、周辺部を透過する光と透光部を透過する光との相互干渉により、透光部と周辺部との間の光強度分布のコントラストを強調できる。また、このコントラスト強調効果は、例えばポジ型レジストプロセスにおいて斜入射露光を用いて微細な孤立レジスト除去部（つまり微細な孤立スペースパターン）を形成する場合にも得られる。すなわち、本実施形態のフォトマスクと斜入射露光との組み合わせにより、孤立スペースパターンと孤立ラインパターン又は密集パターンとを同時に微細化することができる。

【0131】

また、第1の実施形態によると、透過性基板10上に位相シフト膜11を形成した後、位相シフト膜11及び透過性基板10に対してそれぞれ選択的にエッチングを行なうため、低透過率位相シフターと開口部とを有する任意形状のマスクパターン、及び高透過率位相シフターとなる任意形状の透光部をそれぞれ容易に実現できる。

【0132】

また、第1の実施形態によると、低透過率位相シフターを構成する位相シフト膜11を加工することによって任意の形状の開口部を形成できるので、輪郭強調マスクのパターンレイアウトとして、図10(b)及び(c)に示すタイプ、つまり図9(b)に示すタイプに限られず、例えば図9(a)～(f)に示すタイプのいずれをも実現することが可能である。

【0133】

尚、第1の実施形態において、位相シフト膜11つまり低透過率位相シフターの透過率は6%以上で且つ15%以下であることが好ましい。このようにすると、パターン形成時におけるレジスト膜の膜減り等を防止しながら、本実施形態によるコントラスト強調効果を確実に得ることができる。

【0134】

また、第1の実施形態において、位相シフト膜11は、低透過率の透過率調整膜11Aと高透過率の位相調整膜11Bとが順次積層された2層構造を有することが好ましい。このようにすると、位相シフト膜11において所望の位相変化と所望の透過率との組み合わせを任意に選べる。また、透過率調整膜11Aの材料と位相調整膜11Bの材料との組み合わせによって、位相シフト膜11を加工するためのエッチング時の選択比を向上させることができる。

【0135】

また、第1の実施形態において、ポジ型レジストプロセスの使用を前提として説明を行なったが、言うまでもなくポジ型レジストプロセスに代えてネガ型レジストプロセスを用いてもよい。ここで、いずれのプロセスを用いる場合にも、露光光源として、例えば、i線（波長365nm）、KrFエキシマレーザ光（波長248nm）、ArFエキシマレーザ光（波長193nm）又はF₂エキシマレーザ光（波長157nm）等が利用できる。

【0136】

（第1の実施形態の第1変形例）

以下、本発明の第1の実施形態の第1変形例に係るフォトマスク及びその作成方法について、図面を参照しながら説明する。

【0137】

第1の実施形態の第1変形例が第1の実施形態と異なっている点は次の通りである。すなわち、第1の実施形態においては、例えば図9(a)～(c)に示されるような、高透過

率位相シフターと開口部とが隣接するレイアウトの輪郭強調マスクを対象としたが、第1の実施形態の第1変形例においては、例えば図9(d)～(f)に示されるような、高透過率位相シフター(透光部)と開口部(周辺部)とが離間するレイアウトの輪郭強調マスクを対象とする。

【0138】

図15(a)～(e)は第1の実施形態の第1変形例に係るフォトマスクの作成方法の各工程を示す断面図であり、図15(f)は図15(c)の断面図と対応する平面図を示しており、図15(g)は図15(e)の断面図と対応する平面図を示している。

【0139】

まず、図15(a)に示すように、露光光に対して透過性を持つ材料、例えば石英等よりなる透過性基板10の上に、露光光に対して所定の透過率(例えば6～15%)を持つ位相シフト膜11を形成する。位相シフト膜11は、透過性基板10(開口部)との間で露光光に対して $(150 + 360 \times n)$ 度以上で且つ $(210 + 360 \times n)$ 度以下(但しnは整数)の位相差を生じる。ここで、位相シフト膜11が、透過率調整膜と位相調整膜との2層構造を有していてもよい(第1の実施形態参照)。

【0140】

次に、図15(b)に示すように、透過性基板10の上に、低透過率位相シフター(半透光部)形成領域を覆う第1のレジストパターン12、つまり、高透過率位相シフター(透光部)形成領域及び開口部(周辺部)形成領域のそれぞれに除去部を有する第1のレジストパターン12を形成する。ここで、本変形例においては、開口部形成領域と高透過率位相シフター形成領域とが離間している。言い換えると、開口部形成領域と高透過率位相シフター形成領域との間に第1のレジストパターン12が介在する。その後、第1のレジストパターン12をマスクとして、位相シフト膜11に対してエッチングを行なって位相シフト膜11をパターン化した後、第1のレジストパターン12を除去する。これにより、図15(c)及び図15(f)に示すように、位相シフト膜11における高透過率位相シフター形成領域及び開口部形成領域のそれぞれと対応する部分が除去される。

【0141】

次に、図15(d)に示すように、透過性基板10の上に、開口部形成領域を含む低透過率位相シフター形成領域を覆い且つ高透過率位相シフター形成領域に除去部を有する第2のレジストパターン13を形成する。その後、第2のレジストパターン13、及びパターン化された位相シフト膜11をマスクとして、透過性基板10に対してエッチングを行なった後、第2のレジストパターン13を除去する。これにより、図15(e)及び図15(g)に示すように、透過性基板10における高透過率位相シフター形成領域と対応する部分に、180度(具体的には $(150 + 360 \times n)$ 度以上で且つ $(210 + 360 \times n)$ 度以下(但しnは整数))の位相反転が生じる掘り下げ部10aが形成されて、第1の実施形態の第1変形例に係るフォトマスクが完成する。

【0142】

第1の実施形態の第1変形例によると、第1の実施形態の効果に加えて次のような効果が得られる。すなわち、パターン化された位相シフト膜11をマスクとして、透過性基板10に対して自己整合的にエッチングを行なうことができるので、フォトマスク加工を正確に行なえる。

【0143】

(第1の実施形態の第2変形例)

以下、本発明の第1の実施形態の第2変形例に係るフォトマスク及びその作成方法について、図面を参照しながら説明する。

【0144】

第1の実施形態の第2変形例が第1の実施形態と異なっている点は次の通りである。すなわち、第1の実施形態においては、例えば図9(a)～(c)に示されるような、高透過率位相シフター(透光部)と開口部(周辺部)とが隣接するレイアウトの輪郭強調マスクを対象としたが、第1の実施形態の第2変形例においては、第1の実施形態の第1変形例

と同様に、例えば図9 (d) ~ (f) に示されるような、高透過率位相シフターと開口部とが離間するレイアウトの輪郭強調マスクを対象とする。

【0145】

図16 (a) ~ (e) は第1の実施形態の第2変形例に係るフォトマスクの作成方法の各工程を示す断面図であり、図16 (f) は図16 (c) の断面図と対応する平面図を示しており、図16 (g) は図16 (e) の断面図と対応する平面図を示している。

【0146】

まず、図16 (a) に示すように、露光光に対して透過性を持つ材料、例えば石英等よりなる透過性基板10の上に、露光光に対して所定の透過率 (例えば6 ~ 15%) を持つ位相シフト膜11を形成する。位相シフト膜11は、透過性基板10 (開口部) との間で露光光に対して $(150 + 360 \times n)$ 度以上で且つ $(210 + 360 \times n)$ 度以下 (但し n は整数) の位相差を生じる。ここで、位相シフト膜11が、透過率調整膜と位相調整膜との2層構造を有していてもよい (第1の実施形態参照)。

【0147】

次に、図16 (b) に示すように、透過性基板10の上に、低透過率位相シフター (半遮光部) 形成領域及び高透過率位相シフター (透光部) 形成領域を覆う第1のレジストパターン12、つまり、開口部 (周辺部) 形成領域に除去部を有する第1のレジストパターン12を形成する。その後、第1のレジストパターン12をマスクとして、位相シフト膜11に対してエッチングを行なって位相シフト膜11をパターン化した後、第1のレジストパターン12を除去する。これにより、図16 (c) 及び図16 (f) に示すように、位相シフト膜11における開口部形成領域と対応する部分が除去される。

【0148】

次に、図16 (d) に示すように、透過性基板10の上に、低透過率位相シフター形成領域及び開口部形成領域を覆う第2のレジストパターン13、つまり、高透過率位相シフター形成領域に除去部を有する第2のレジストパターン13を形成する。その後、第2のレジストパターン13をマスクとして、位相シフト膜11及び透過性基板10に対して順次エッチングを行なった後、第2のレジストパターン13を除去する。これにより、図16 (e) 及び図16 (g) に示すように、位相シフト膜11における高透過率位相シフター形成領域と対応する部分が除去される。また、透過性基板10における高透過率位相シフター形成領域と対応する部分に、 180 度 (具体的には $(150 + 360 \times n)$ 度以上で且つ $(210 + 360 \times n)$ 度以下 (但し n は整数) の位相反転が生じる掘り下げ部10aが形成される。すなわち、第1の実施形態の第2変形例に係るフォトマスクが完成する。

【0149】

第1の実施形態の第2変形例によると、第1の実施形態の効果に加えて次のような効果が得られる。すなわち、本変形例においては、位相シフト膜11における開口部形成領域と対応する部分を除去する工程 (図16 (c) 参照) と、位相シフト膜11における高透過率位相シフター形成領域と対応する部分を除去する工程 (図16 (e) 参照) とを別々に行なう。このため、開口部と高透過率位相シフターとが微小幅で離間している場合、言い換えると、開口部と高透過率位相シフターとの間に、微小幅の位相シフト膜11を残しておく場合、フォトマスク加工のマージンが大きくなる。

【0150】

尚、第1の実施形態の第2変形例において、位相シフト膜11における開口部形成領域と対応する部分を除去する工程を行なう前に、位相シフト膜11における高透過率位相シフター形成領域と対応する部分を除去する工程 (透過性基板10に掘り下げ部10aを形成する工程を含む) を行なってもよい。

【0151】

(第1の実施形態の第3変形例)

以下、本発明の第1の実施形態の第3変形例に係るフォトマスク及びその作成方法について、図面を参照しながら説明する。

【0152】

第1の実施形態の第3変形例が第1の実施形態と異なっている点は次の通りである。すなわち、第1の実施形態においては、例えば図9(a)～(c)に示されるような、高透過率位相シフター（透光部）と開口部（周辺部）とが隣接するレイアウトの輪郭強調マスクを対象としたが、第1の実施形態の第3変形例においては、例えば図9(d)～(f)に示されるような、高透過率位相シフターと開口部とが離間するレイアウトの輪郭強調マスクを対象とする。また、第1の実施形態においては、例えば図11(a)に示されるような、低透過率位相シフター（半遮光部）となる位相シフト膜11が単層膜であることを前提としてきたが、第1の実施形態の第3変形例においては、例えば図11(b)に示されるような、位相シフト膜11が、低透過率の透過率調整膜11Aと高透過率の位相調整膜11Bとが順次積層された2層構造を有することを前提とする。 10

【0153】

図17(a)及び(b)は、第1の実施形態の第3変形例に係るフォトマスクの平面図及び断面図である。図17(a)及び(b)に示すように、透過性基板10の掘り下げ部10aにより高透過率位相シフターとなる透光部と、位相シフト膜11のない開口部つまり周辺部とは離間している。また、低透過率位相シフターとなる位相シフト膜11は、下層となる低透過率の透過率調整膜11Aと、上層となる高透過率の位相調整膜11Bとを有する。ここで、透過率調整膜11Aは、例えば、透過性基板10（開口部）との間で露光光に対して $(-30+360 \times n)$ 度以上で且つ $(30+360 \times n)$ 度以下（但しnは整数）の位相差を生じる単層薄膜よりなる。すなわち、透過率調整膜11Aは透過する光に僅かな位相変化しか発生させない。透過率調整膜11Aとしては、例えばZr、Cr、Ta、Mo若しくはTi等の金属からなる薄膜（厚さ30nm以下）又は例えばTa-Cr合金、Zr-Si合金、Mo-Si合金若しくはTi-Si合金等の金属合金からなる薄膜（厚さ30nm以下）を用いることができる。また、位相調整膜11Bとしては、例えばSiO₂膜等の酸化膜を用いることができる。 20

【0154】

ところで、本変形例を含む第1の実施形態においては、透過性基板10の掘り下げ部10aによって、十分に高い透過率（例えば90～100%程度）を有する高透過率位相シフターを形成することができる。しかしながら、透過性基板10のエッチング面における光散乱等に起因して、高透過率位相シフターの実効透過率は開口部（つまり透過性基板10）よりも僅かに低下してしまう。このため、開口部の透過率がフォトマスク上で最も高くなるので、開口部の微細化に対する要求が厳しくなる。 30

【0155】

ここで、図17(c)の平面図及び図17(d)の断面図に示すように、位相シフト膜11における開口部と高透過率位相シフター（掘り下げ部10a）との間に形成されている部分から位相調整膜11Bを除去することによって、言い換えると、周辺部と透光部との間に透過率調整膜11Aのみを残しておくことによって、次のような効果が得られる。

【0156】

まず、透過率調整膜11Aの膜厚が十分に小さい場合、開口部を透過する光と、位相調整膜11Bの除去部分（つまり透過性基板10における透過率調整膜11Aのみが形成されている部分）を透過する光とはほぼ同位相となる。この状況においては、開口部と位相調整膜11Bの除去部分とを合わせた領域は、それぞれの面積に応じて平均化された透過率を有する領域とほぼ等価である。ここで、開口部の透過率と、位相調整膜11Bの除去部分の透過率との平均値は開口部の透過率よりも小さいので、図17(d)に示す構造は、図17(c)に示す構造（高透過率位相シフターの近傍に、開口部よりも実効透過率が低い擬似的な開口部が形成された構造）と等価になる。すなわち、位相調整膜11Bの除去部分を含めた開口部の透過率（実効透過率）を1よりも小さくできるので、開口部の寸法制御に対するマージンが大きくなる。 40

【0157】

さらに、透過率調整膜11Aが単層薄膜よりなる場合、多層構造の透過率調整膜を用いる 50

場合と比べて、開口部と高透過率位相シフターとの間に微小幅の透過率調整膜 11A を形成した際における透過率調整膜 11A の剥離を抑制できる。

【0158】

(第2の実施形態)

以下、本発明の第2の実施形態に係るフォトマスク、その作成方法、及びそのフォトマスクを用いたパターン形成方法について、図面を参照しながら説明する。尚、第2の実施形態に係るフォトマスクは、輪郭強調法を実現するための縮小投影露光システムのフォトマスクである。

【0159】

図18(a)は、第2の実施形態に係るフォトマスクを用いて形成しようとする所望のパターン 10 の一例を示している。

【0160】

尚、本実施形態でパターン形成について説明する場合、特に断らない限り、ポジ型レジストプロセスを使用する場合を想定して説明する。すなわち、レジスト膜の感光部分が除去されるということを想定して説明する。一方、ネガ型レジストプロセスの使用を想定する場合、レジスト膜の感光部分がレジストパターンとなることを除いて、ポジ型レジストプロセスの使用を想定した説明と全く同じことになる。また、本実施形態においては、特に断らない限り、透過率を、透過性基板の透過率を100%としたときの実効透過率で表す。

【0161】

図18(b)は、第2の実施形態に係るフォトマスク、具体的には、図18(a)に示す所望のパターンを形成するためのフォトマスクの平面図である。図18(b)に示すように、所望のパターンにおけるレジスト除去部に対応するように高透過率位相シフター(透光部)が設けられている。また、高透過率位相シフターを囲む遮光性のマスクパターンとして、露光光を完全に遮光する完全遮光部に代えて、レジスト膜を感光させない程度の低透過率(6~15%程度)を有する低透過率位相シフター(半遮光部)を用いている。さらに、高透過率位相シフターの近傍には、低透過率位相シフターのない微小幅の開口部(周辺部)が設けられている。ここで、第2の実施形態においては、開口部に、透過性基板よりも露光光に対する透過率が低い透過率調整膜が形成されており、それによって開口部の透過率が、透過性基板の透過率よりも小さい値に調整されている。以下、この開口部を 30

【0162】

尚、第2の実施形態においては、透過率調整部(開口部)の配置方法として、例えば図9(b)に示すような、方形状の高透過率位相シフターの各辺から所定の寸法以下の領域に該各辺と接するように透過率調整部を配置する形式を採用している。

【0163】

図18(c)は、図18(b)におけるAA'線の断面図、つまり第2の実施形態に係るフォトマスクの断面図である。図18(c)に示すように、図18(b)に示すフォトマスクは以下のようにして実現されている。すなわち、透過性基板20における透光部形成領域以外の他の領域の上に、透過性基板20よりも露光光に対する透過率が低い半遮光膜(透過率調整膜)21と位相調整膜22とを順次形成する。位相調整膜22は、透過性基板20及び透過率調整膜21の積層構造(つまり透過率調整部(周辺部))との間で露光光に対して180度(実際には $(150 + 360 \times n)$ 度以上で且つ $(210 + 360 \times n)$ 度以下(但しnは整数))の位相差を生じる。これによって、透過率調整膜21と位相調整膜22との積層構造よりなり且つレジスト膜を感光させない程度の低透過率(6~15%程度)を持つ位相シフト膜が形成され、それによって低透過率位相シフターとなる半遮光部が形成される。尚、位相調整膜22は、透過率調整部には形成されていない。また、透過率調整膜21は薄膜であることが好ましいが、任意の厚さを有する厚膜であって 50

もよい。さらに、透過性基板20における透光部形成領域を、透過性基板20及び透過率調整膜21の積層構造（つまり透過率調整部）との間で露光光に対して180度（実際には $(150+360 \times n)$ 度以上で且つ $(210+360 \times n)$ 度以下（但しnは整数））の位相差を生じる厚さだけ掘り下げる。これにより、透過性基板20の掘り下げ部20aによって、高透過率位相シフターとなる透光部が形成される。従って、高透過率位相シフター（透光部）と、透過率調整膜21及び位相調整膜22の積層構造（位相シフト膜）よりなる低透過率位相シフター（半遮光部）とによって、位相調整膜22のない（つまり透過率調整膜21の単層構造を有する）透過率調整部が挟まれる構造となって輪郭強調マスクが実現されている。透過率調整膜21としては、例えばZr、Cr、Ta、Mo若しくはTi等の金属からなる薄膜（厚さ30nm以下）又は例えばTa-Cr合金、Zr-Si合金、Mo-Si合金若しくはTi-Si合金等の金属合金からなる薄膜（厚さ30nm以下）を用いることができる。また、位相調整膜22としては、例えばSiO₂膜等の酸化膜を用いることができる。但し、輪郭強調法によるコントラスト強調を得るためには、透過率調整部の幅を所定の寸法以下に制限する必要がある。

【0164】

次に、第2の実施形態に係るフォトマスクを用いたパターン形成方法について説明する。

【0165】

図19(a)～(d)は第2の実施形態に係るフォトマスクを用いたパターン形成方法の各工程を示す断面図である。

【0166】

まず、図19(a)に示すように、基板200上に、金属膜又は絶縁膜等の被加工膜201を形成した後、図19(b)に示すように、被加工膜201の上に、ポジ型のレジスト膜202を形成する。

【0167】

次に、図19(c)に示すように、透過率調整膜21及び位相調整膜22の積層構造（位相シフト膜）よりなる低透過率位相シフターと、透過率調整膜21の単層構造を有する透過率調整部と、掘り下げ部20aにより高透過率位相シフターとして機能する透光部とを備えた、第2の実施形態に係るフォトマスクに対して、斜入射露光光源を用いて露光光203を照射し、該フォトマスクを透過した透過光204によってレジスト膜202を露光する。このとき、マスクパターンとして、低透過率位相シフター（半遮光部）を用いているため、レジスト膜202の全体が弱いエネルギーで露光される。しかし、図19(c)に示すように、現像工程でレジスト膜202が溶解するに足る露光エネルギーが照射されるのは、レジスト膜202におけるフォトマスクの透光部（掘り下げ部20a）と対応する潜像部分202aのみである。

【0168】

次に、レジスト膜202に対して現像を行なって潜像部分202aを除去することにより、図19(d)に示すように、レジストパターン205を形成する。このとき、図19(c)に示す露光工程において、透光部周辺の光が打ち消される結果、レジスト膜202における透光部周辺（透過率調整部）と対応する部分にはほとんど露光エネルギーが照射されないため、透光部を透過する光と透過率調整部を透過する光との間の光強度分布のコントラスト、言い換えると、潜像部分202aに照射される光と潜像部分202aの周辺に照射される光との間の光強度分布のコントラストを強調できる。従って、潜像部分202aにおけるエネルギー分布も急激に変化するので、シャープな形状を有するレジストパターン205が形成される。

【0169】

次に、第2の実施形態に係るフォトマスクの作成方法について図面を参照しながら説明する。

【0170】

図20(a)～(e)は第2の実施形態に係るフォトマスクの作成方法の各工程を示す断面図であり、図20(f)は図20(c)の断面図と対応する平面図を示しており、図2

0 (g) は図 20 (e) の断面図と対応する平面図を示している。

【0171】

まず、図 20 (a) に示すように、露光光に対して透過性を持つ材料、例えば石英等よりなる透過性基板 20 の上に、透過性基板 20 よりも露光光に対する透過率が低い透過率調整膜 21 と位相調整膜 22 とを順次形成する。位相調整膜 22 は、透過性基板 20 及び透過率調整膜 21 の積層構造との間で露光光に対して $(150 + 360 \times n)$ 度以上で且つ $(210 + 360 \times n)$ 度以下 (但し n は整数) の位相差を生じる。また、透過率調整膜 21 及び位相調整膜 22 の積層構造からなる位相シフト膜は、露光光に対して所定の透過率 (例えば 6 ~ 15 %) を持つ半遮光部を構成する。

10

【0172】

次に、図 20 (b) に示すように、透過性基板 20 の上に、低透過率位相シフター (半遮光部) 形成領域を覆う第 1 のレジストパターン 23、つまり、高透過率位相シフター (透光部) 形成領域及び透過率調整部 (周辺部) 形成領域のそれぞれに除去部を有する第 1 のレジストパターン 23 を形成する。その後、第 1 のレジストパターン 23 をマスクとして、位相調整膜 22 に対してエッチングを行なって位相調整膜 22 をパターン化した後、第 1 のレジストパターン 23 を除去する。これにより、図 20 (c) 及び図 20 (f) に示すように、位相調整膜 22 における高透過率位相シフター形成領域及び開口部形成領域のそれぞれと対応する部分が除去される。

【0173】

次に、図 20 (d) に示すように、透過性基板 20 の上に、低透過率位相シフター形成領域及び透過率調整部形成領域を覆う第 2 のレジストパターン 24、つまり高透過率位相シフター形成領域に除去部を有する第 2 のレジストパターン 24 を形成する。その後、第 2 のレジストパターン 24 をマスクとして、透過率調整膜 21 及び透過性基板 20 に対して順次エッチングを行なった後、第 2 のレジストパターン 24 を除去する。これにより、図 20 (e) 及び図 20 (g) に示すように、透過率調整膜 21 における高透過率位相シフター形成領域と対応する部分が除去される。また、透過性基板 20 における高透過率位相シフター形成領域と対応する部分に、透過性基板 20 及び透過率調整膜 21 の積層構造 (つまり透過率調整部) との間で 180 度 (具体的には $(150 + 360 \times n)$ 度以上で且つ $(210 + 360 \times n)$ 度以下 (但し n は整数)) の位相反転が生じる掘り下げ部 20 a が形成される。すなわち、第 2 の実施形態に係るフォトマスクが完成する。ここで、輪郭強調マスクの平面構造を有する第 2 の実施形態に係るフォトマスクは、マスクブランクとして、透過率調整膜及び位相調整膜からなる位相シフト膜を堆積させた透過性基板を用意し、その後、位相調整膜、透過率調整膜及び透過性基板に対して順次エッチングを行なうことにより容易に形成できる。

30

【0174】

以上に説明したように、第 2 の実施形態によると、透過性基板 20 における低透過率位相シフター (半遮光部) 形成領域の上に、露光光を低透過率で位相反転させて透過させる位相シフト膜 (透過率調整膜 21 及び位相調整膜 22 の積層構造) が形成されている。また、透過性基板 20 における透光部形成領域が露光光に位相反転が生じる厚さだけ掘り下げられて透光部が形成されている。さらに、透過性基板 20 における透過率調整部形成領域の上に、透過率調整膜 21 の単層構造が形成されている。このため、掘り下げ部 20 a により高透過率位相シフターとして機能する透光部と、該透光部と同位相で露光光を透過させ且つ位相シフト膜よりなる低透過率位相シフターとによって、透過率調整膜 21 の単層構造を持つ透過率調整部、つまり透光部と反対位相で露光光を透過させる周辺部が挟まれる。その結果、周辺部を透過する光と透光部を透過する光との相互干渉により、透光部と周辺部との間の光強度分布のコントラストを強調できる。また、このコントラスト強調効果は、例えばポジ型レジストプロセスにおいて斜入射露光を用いて微細な孤立レジスト除去部 (つまり微細な孤立スペースパターン) を形成する場合にも得られる。すなわち、本実施形態のフォトマスクと斜入射露光との組み合わせにより、孤立スペースパターンと孤立ラインパターン又は密集パターンとを同時に微細化することができる。

40

50

【0175】

また、第2の実施形態によると、低透過率位相シフターとなる位相シフト膜が、低透過率の透過率調整膜21と高透過率の位相調整膜22との積層構造を有する。このため、位相シフト膜において所望の位相変化と所望の透過率との組み合わせを任意に選べる。また、透過率調整膜21の材料と位相調整膜22の材料との組み合わせによって、位相シフト膜を加工するためのエッチング時の選択比を向上させることができる。

【0176】

また、第2の実施形態によると、透過性基板20における周辺部形成領域の上に、透過率調整膜21の単層構造が形成されているため、周辺部の透過率は透過性基板20よりも低減され、周辺部は透過率調整部となる。すなわち、周辺部の透過率は透過率調整膜21によって所望値に調整される。従って、周辺部の透過率がフォトリソマスク上で最も高くなることを回避できるので、周辺部に要求される微細化の程度を低減できる。言い換えると、輪郭強調マスクにおける周辺部つまり開口部の上限寸法が微小になってフォトリソマスク作成が困難になるという問題を防止することができる。

【0177】

また、第2の実施形態によると、透過性基板20上に透過率調整膜21及び位相調整膜22を順次形成した後、位相調整膜22、透過率調整膜21及び透過性基板20に対してそれぞれ選択的にエッチングを行なう。このため、低透過率位相シフター（半遮光部）と透過率調整部（周辺部）とを有する任意形状のマスクパターン、及び高透過率位相シフターとなる任意形状の透光部をそれぞれ容易に実現できる。

【0178】

また、第2の実施形態によると、低透過率位相シフターを構成する位相調整膜22を加工することによって任意の形状の開口部（透過率調整部）を形成できるので、輪郭強調マスクのパターンレイアウトとして、図18（b）及び（c）に示すタイプ、つまり図9（b）に示すタイプに限られず、例えば図9（a）～（f）に示すタイプのいずれをも実現することが可能である。

【0179】

尚、第2の実施形態において、透過率調整膜21及び位相調整膜22の積層構造よりなる位相シフト膜の透過率は6%以上で且つ15%以下であることが好ましい。このようにすると、パターン形成時におけるレジスト膜の膜減り等を防止しながら、本実施形態によるコントラスト強調効果を確実に得ることができる。

【0180】

また、第2の実施形態において、ポジ型レジストプロセスの使用を前提として説明を行なったが、言うまでもなくポジ型レジストプロセスに代えてネガ型レジストプロセスを用いてもよい。ここで、いずれのプロセスを用いる場合にも、露光光源として、例えば、i線（波長365nm）、KrFエキシマレーザ光（波長248nm）、ArFエキシマレーザ光（波長193nm）又はF₂エキシマレーザ光（波長157nm）等が利用できる。

【0181】

また、第2の実施形態において、透過率調整膜21は、透過性基板20との間で露光光に対して $(-30+360 \times n)$ 度以上で且つ $(30+360 \times n)$ 度以下（但しnは整数）の位相差を生じる単層薄膜よりなることが好ましい。このようにすると、透過性基板上に、単層薄膜よりなる透過率調整膜と位相調整膜とからなる位相シフト膜が形成された、通常のハーフトーン位相シフトマスク用のマスクブランクを用意して、位相調整膜、透過率調整膜及び透過性基板のそれぞれに対してエッチングを行なうだけで、フォトリソ加工を容易に行なえる。このとき、透過率調整膜21として例えば金属薄膜を用いると、透過性基板20に掘り下げ部20aを形成するための基板エッチングにおいて、石英等よりなる透過性基板20に対して高い選択比を持ったエッチングマスクとして透過率調整膜21を利用できるという効果が得られる。

【0182】

(第2の実施形態の第1変形例)

以下、本発明の第2の実施形態の第1変形例に係るフォトマスク及びその作成方法について、図面を参照しながら説明する。

【0183】

第2の実施形態の第1変形例が第2の実施形態と異なっている点は次の通りである。すなわち、第2の実施形態においては、例えば図9(a)～(c)に示されるような、高透過率位相シフター(透光部)と開口部(透過率調整部)とが隣接するレイアウトの輪郭強調マスクを対象としたが、第2の実施形態の第1変形例においては、例えば図9(d)～(f)に示されるような、高透過率位相シフターと透過率調整部とが離間するレイアウトの輪郭強調マスクを対象とする。

10

【0184】

図21(a)～(e)は第2の実施形態の第1変形例に係るフォトマスクの作成方法の各工程を示す断面図であり、図21(f)は図21(c)の断面図と対応する平面図を示しており、図21(g)は図21(e)の断面図と対応する平面図を示している。

【0185】

まず、図21(a)に示すように、露光光に対して透過性を持つ材料、例えば石英等よりなる透過性基板20の上に、透過性基板20よりも露光光に対する透過率が低い透過率調整膜21と位相調整膜22とを順次形成する。位相調整膜22は、透過性基板20及び透過率調整膜21の積層構造(つまり透過率調整部)との間で露光光に対して $(150 + 360 \times n)$ 度以上で且つ $(210 + 360 \times n)$ 度以下(但しnは整数)の位相差を生じる。また、透過率調整膜21及び位相調整膜22の積層構造からなる位相シフト膜は、露光光に対して所定の透過率(例えば6～15%)を持つ半遮光部となる。

20

【0186】

次に、図21(b)に示すように、透過性基板20の上に、低透過率位相シフター(半遮光部)形成領域を覆う第1のレジストパターン23、つまり、高透過率位相シフター(透光部)形成領域及び透過率調整部(周辺部)形成領域のそれぞれに除去部を有する第1のレジストパターン23を形成する。ここで、本変形例においては、透過率調整部形成領域と高透過率位相シフター形成領域とが離間している。言い換えると、透過率調整部形成領域と高透過率位相シフター形成領域との間に第1のレジストパターン23が介在する。その後、第1のレジストパターン23をマスクとして、位相調整膜22に対してエッチングを行なって位相調整膜22をパターン化した後、第1のレジストパターン23を除去する。これにより、図21(c)及び図21(f)に示すように、位相調整膜22における高透過率位相シフター形成領域及び透過率調整部形成領域のそれぞれと対応する部分が除去される。

30

【0187】

次に、図21(d)に示すように、透過性基板20の上に、透過率調整部形成領域を含む低透過率位相シフター形成領域を覆い且つ高透過率位相シフター形成領域に除去部を有する第2のレジストパターン24を形成する。その後、第2のレジストパターン24、及びパターン化された位相調整膜22をマスクとして、透過率調整膜21及び透過性基板20に対して順次エッチングを行なった後、第2のレジストパターン24を除去する。これにより、図21(e)及び図21(g)に示すように、透過率調整膜21における高透過率位相シフター形成領域と対応する部分が除去される。また、透過性基板20における高透過率位相シフター形成領域と対応する部分に、透過性基板20及び透過率調整膜21の積層構造(つまり透過率調整部)との間で180度(具体的には $(150 + 360 \times n)$ 度以上で且つ $(210 + 360 \times n)$ 度以下(但しnは整数))の位相反転が生じる掘り下げ部20aが形成される。すなわち、第2の実施形態の第1変形例に係るフォトマスクが完成する。

40

【0188】

第2の実施形態の第1変形例によると、第2の実施形態の効果に加えて次のような効果が得られる。すなわち、パターン化された位相調整膜22をマスクとして、透過性基板20

50

に対して自己整合的にエッチングを行なうことができるので、フォトマスク加工を正確に行なえる。

【0189】

(第2の実施形態の第2変形例)

以下、本発明の第2の実施形態の第2変形例に係るフォトマスク及びその作成方法について、図面を参照しながら説明する。

【0190】

第2の実施形態の第2変形例が第2の実施形態と異なっている点は次の通りである。すなわち、第2の実施形態においては、例えば図9(a)～(c)に示されるような、高透過率位相シフター(透光部)と開口部(透過率調整部)とが隣接するレイアウトの輪郭強調マスクを対象としたが、第2の実施形態の第2変形例においては、第2の実施形態の第1変形例と同様に、例えば図9(d)～(f)に示されるような、高透過率位相シフターと透過率調整部とが離間するレイアウトの輪郭強調マスクを対象とする。

【0191】

図22(a)～(e)は第2の実施形態の第2変形例に係るフォトマスクの作成方法の各工程を示す断面図であり、図22(f)は図22(c)の断面図と対応する平面図を示しており、図22(g)は図22(e)の断面図と対応する平面図を示している。

【0192】

まず、図22(a)に示すように、露光光に対して透過性を持つ材料、例えば石英等よりなる透過性基板20の上に、透過性基板20よりも露光光に対する透過率が低い透過率調整膜21と位相調整膜22とを順次形成する。位相調整膜22は、透過性基板20及び透過率調整膜21の積層構造(つまり透過率調整部)との間で露光光に対して $(150 + 360 \times n)$ 度以上で且つ $(210 + 360 \times n)$ 度以下(但しnは整数)の位相差を生じる。また、透過率調整膜21及び位相調整膜22の積層構造からなる位相シフト膜は、露光光に対して所定の透過率(例えば6～15%)を持つ半遮光部となる。

【0193】

次に、図22(b)に示すように、透過性基板20の上に、低透過率位相シフター(半遮光部)形成領域及び高透過率位相シフター(透光部)形成領域を覆う第1のレジストパターン23、つまり、透過率調整部(周辺部)形成領域に除去部を有する第1のレジストパターン23を形成する。その後、第1のレジストパターン23をマスクとして、位相調整膜22に対してエッチングを行なって位相調整膜22をパターン化した後、第1のレジストパターン23を除去する。これにより、図22(c)及び図22(f)に示すように、位相調整膜22における透過率調整部形成領域のと対応する部分が除去される。

【0194】

次に、図22(d)に示すように、透過性基板20の上に、低透過率位相シフター形成領域及び透過率調整部形成領域を覆う第2のレジストパターン24、つまり、高透過率位相シフター形成領域に除去部を有する第2のレジストパターン24を形成する。その後、第2のレジストパターン24をマスクとして、位相調整膜22、透過率調整膜21及び透過性基板20に対して順次エッチングを行なった後、第2のレジストパターン24を除去する。これにより、図22(e)及び図22(g)に示すように、透過率調整膜21及び位相調整膜22のそれぞれにおける高透過率位相シフター形成領域と対応する部分が除去される。また、透過性基板20における高透過率位相シフター形成領域と対応する部分に、透過性基板20及び透過率調整膜21の積層構造(つまり透過率調整部)との間で 180 度(具体的には $(150 + 360 \times n)$ 度以上で且つ $(210 + 360 \times n)$ 度以下(但しnは整数))の位相反転が生じる掘り下げ部20aが形成される。すなわち、第2の実施形態の第2変形例に係るフォトマスクが完成する。

【0195】

第2の実施形態の第2変形例によると、第2の実施形態の効果に加えて次のような効果が得られる。すなわち、本変形例においては、位相調整膜22における透過率調整部形成領域と対応する部分を除去する工程(図22(c)参照)と、位相調整膜22における高透

過率位相シフター形成領域と対応する部分を除去する工程（図22（e）参照）とを別々に行なう。このため、透過率調整部と高透過率位相シフターとが微小幅で離間している場合、言い換えると、透過率調整部と高透過率位相シフターとの間に、微小幅の位相調整膜22を残しておく場合、フォトマスク加工のマージンが大きくなる。

【0196】

尚、第2の実施形態の第2変形例において、位相調整膜22における透過率調整部形成領域と対応する部分を除去する工程を行なう前に、位相調整膜22における高透過率位相シフター形成領域と対応する部分を除去する工程（透過率調整膜21における高透過率位相シフター形成領域と対応する部分を除去すると共に透過性基板20に掘り下げ部20aを形成する工程を含む）を行なってもよい。

10

【0197】

（第3の実施形態）

以下、本発明の第3の実施形態に係るフォトマスク、その作成方法、及びそのフォトマスクを用いたパターン形成方法について、図面を参照しながら説明する。尚、第3の実施形態に係るフォトマスクは、輪郭強調法を実現するための縮小投影露光システムのフォトマスクである。

【0198】

図23（a）は、第3の実施形態に係るフォトマスクを用いて形成しようとする所望のパターンの一例を示している。

20

【0199】

尚、本実施形態でパターン形成について説明する場合、特に断らない限り、ポジ型レジストプロセスを使用する場合を想定して説明する。すなわち、レジスト膜の感光部分が除去されるということを想定して説明する。一方、ネガ型レジストプロセスの使用を想定する場合、レジスト膜の感光部分がレジストパターンとなることを除いて、ポジ型レジストプロセスの使用を想定した説明と全く同じことになる。また、本実施形態においては、特に断らない限り、透過率を、透過性基板の透過率を100%としたときの実効透過率で表す。

【0200】

図23（b）は、第3の実施形態に係るフォトマスク、具体的には、図23（a）に示す所望のパターンを形成するためのフォトマスクの平面図である。図23（b）に示すように、所望のパターンにおけるレジスト除去部に対応するように高透過率位相シフター（透光部）が設けられている。また、高透過率位相シフターを囲む遮光性のマスクパターンとして、露光光を完全に遮光する完全遮光部に代えて、レジスト膜を感光させない程度の低透過率（6～15%程度）を有する低透過率位相シフター（半遮光部）を用いている。さらに、高透過率位相シフターの近傍には、低透過率位相シフターのない微小幅の開口部（周辺部）が設けられている。高透過率位相シフター及び低透過率位相シフターは露光光を互いに同位相で透過させる一方、開口部は、高透過率位相シフター及び低透過率位相シフターを基準として露光光を反対位相で透過させる。

30

【0201】

尚、第3の実施形態においては、開口部の配置方法として、例えば図9（b）に示すような、矩形状の高透過率位相シフターの各辺から所定の寸法以下の領域に該各辺と接するように開口部を配置する形式を採用している。

40

【0202】

図23（c）は、図23（b）におけるAA'線の断面図、つまり第3の実施形態に係るフォトマスクの断面図である。図23（c）に示すように、図23（b）に示すフォトマスクは以下のようにして実現されている。すなわち、透過性基板30における低透過率位相シフター形成領域の上に、位相調整膜31と、透過性基板30よりも露光光に対する透過率が低い半遮光膜（透過率調整膜）32とを順次形成する。位相調整膜31は、透過性基板30（開口部）との間で露光光に対して180度（実際には $(150 + 360 \times n)$ 度以上で且つ $(210 + 360 \times n)$ 度以下（但しnは整数）の位相差を生じる。これ

50

によって、位相調整膜 3 1 と透過率調整膜 3 2 との積層構造よりなり且つレジスト膜を感光させない程度の低透過率（6～15%程度）を持つ位相シフト膜が形成され、それにより低透過率位相シフターとなる半遮光部が形成される。ここで、透過率調整膜 3 2 は低い透過率で光を透過させる一方、透過率調整膜 3 2 の厚さによる光の位相変化は僅少であるものとする。また、透過性基板 3 0 における透光部形成領域の上に、位相調整膜 3 1 の単層構造が形成されており、それによって高透過率位相シフターとなる透光部が形成される。従って、高透過率位相シフター（透光部）と、位相調整膜 3 1 及び透過率調整膜 3 2 の積層構造（位相シフト膜）よりなる低透過率位相シフター（半遮光部）とによって、位相調整膜 3 1 のない（透過性基板 3 0 の表面が露出した）周辺部つまり開口部が挟まれる構造となって輪郭強調マスクが実現されている。位相調整膜 3 1 としては、例えば SiO_2 膜等の酸化膜を用いることができる。また、透過率調整膜 3 2 としては、例えば Zr 、 Cr 、 Ta 、 Mo 若しくは Ti 等の金属からなる薄膜（厚さ 30 nm 以下）又は例えば Ta-Cr 合金、 Zr-Si 合金、 Mo-Si 合金若しくは Ti-Si 合金等の金属合金からなる薄膜（厚さ 30 nm 以下）を用いることができる。但し、輪郭強調法によるコントラスト強調を得るためには、開口部幅を所定の寸法以下に制限する必要がある。

【0203】

次に、第 3 の実施形態に係るフォトマスクを用いたパターン形成方法について説明する。

【0204】

図 2 4 (a)～(d) は第 3 の実施形態に係るフォトマスクを用いたパターン形成方法の各工程を示す断面図である。

【0205】

まず、図 2 4 (a) に示すように、基板 3 0 0 上に、金属膜又は絶縁膜等の被加工膜 3 0 1 を形成した後、図 2 4 (b) に示すように、被加工膜 3 0 1 の上に、ポジ型のレジスト膜 3 0 2 を形成する。

【0206】

次に、図 2 4 (c) に示すように、位相調整膜 3 1 と透過率調整膜 3 2 との積層構造（位相シフト膜）よりなる低透過率位相シフターと、位相調整膜 3 1 の単層構造により高透過率位相シフターとして機能する透光部とを備えた、第 3 の実施形態に係るフォトマスクに対して、斜入射露光光源を用いて露光光 3 0 3 を照射し、該フォトマスクを透過した透過光 3 0 4 によってレジスト膜 3 0 2 を露光する。このとき、マスクパターンとして低透過率位相シフター（半遮光部）を用いているため、レジスト膜 3 0 2 の全体が弱いエネルギーで露光される。しかし、図 2 4 (c) に示すように、現像工程でレジスト膜 3 0 2 が溶解するに足る露光エネルギーが照射されるのは、レジスト膜 3 0 2 におけるフォトマスクの透光部と対応する潜像部分 3 0 2 a のみである。

【0207】

次に、レジスト膜 3 0 2 に対して現像を行なって潜像部分 3 0 2 a を除去することにより、図 2 4 (d) に示すように、レジストパターン 3 0 5 を形成する。このとき、図 2 4 (c) に示す露光工程において、透光部周辺の光が打ち消される結果、レジスト膜 3 0 2 における開口部（周辺部）と対応する部分にはほとんど露光エネルギーが照射されないの、透光部を透過する光と周辺部を透過する光との間の光強度分布のコントラスト、言い換えると、潜像部分 3 0 2 a に照射される光と潜像部分 3 0 2 a の周辺に照射される光との間の光強度分布のコントラストを強調できる。従って、潜像部分 3 0 2 a におけるエネルギー分布も急激に変化するので、シャープな形状を有するレジストパターン 3 0 5 が形成される。

【0208】

次に、第 3 の実施形態に係るフォトマスクの作成方法について図面を参照しながら説明する。

【0209】

図 2 5 (a)～(e) は第 3 の実施形態に係るフォトマスクの作成方法の各工程を示す断面図であり、図 2 5 (f) は図 2 5 (c) の断面図と対応する平面図を示しており、図 2

5 (g) は図 25 (e) の断面図と対応する平面図を示している。

【0210】

まず、図 25 (a) に示すように、露光光に対して透過性を持つ材料、例えば石英等よりなる透過性基板 30 の上に、位相調整膜 31 と、透過性基板 30 よりも露光光に対する透過率が低い透過率調整膜 32 とを順次形成する。位相調整膜 31 は、透過性基板 30 (開口部) との間で露光光に対して $(150 + 360 \times n)$ 度以上で且つ $(210 + 360 \times n)$ 度以下 (但し n は整数) の位相差を生じる。また、位相調整膜 31 及び透過率調整膜 32 の積層構造からなる位相シフト膜は、露光光に対して所定の透過率 (例えば 6 ~ 15 %) を持つ半遮光部となる。本実施形態においては、透過率調整膜 32 として、例えば、
10 薄膜化されて低い透過率を有するようになった遮光膜 (通常の写真マスクの遮光膜として用いられるクロム膜等) を用いる。

【0211】

次に、図 25 (b) に示すように、透過性基板 30 の上に、低透過率位相シフター (半遮光部) 形成領域及び高透過率位相シフター (透光部) 形成領域を覆う第 1 のレジストパターン 33、つまり、開口部 (周辺部) 形成領域に除去部を有する第 1 のレジストパターン 33 を形成する。その後、第 1 のレジストパターン 33 をマスクとして、透過率調整膜 32 及び位相調整膜 31 に対してエッチングを行なった後、第 1 のレジストパターン 33 を除去する。これにより、図 25 (c) 及び図 25 (f) に示すように、位相調整膜 31 及び透過率調整膜 32 の積層構造 (位相シフト膜) における開口部形成領域と対応する部分
20 が除去される。

【0212】

次に、図 25 (d) に示すように、透過性基板 30 の上に、少なくとも低透過率位相シフター形成領域を覆い且つ高透過率位相シフター形成領域に除去部を有する第 2 のレジストパターン 34 を形成する。その後、第 2 のレジストパターン 34 をマスクとして、透過率調整膜 32 に対してエッチングを行なった後、第 2 のレジストパターン 34 を除去する。これにより、図 25 (e) 及び図 25 (g) に示すように、透過率調整膜 32 における高透過率位相シフター形成領域と対応する部分が除去されて、第 3 の実施形態に係るフォトマスクが完成する。すなわち、輪郭強調マスクの平面構造を有する第 3 の実施形態に係るフォトマスクは、マスクブランクとして、180 度の位相反転を生じる厚さの位相調整膜
30 と、薄膜化された遮光膜 (透過率調整膜) とを順次堆積させた透過性基板を用意し、その後、該遮光膜及び位相調整膜に対して順次エッチングを行なうことによって容易に形成できる。

【0213】

以上に説明したように、第 3 の実施形態によると、透過性基板 30 における低透過率位相シフター (半遮光部) 形成領域の上に、露光光を低透過率で位相反転させて透過させる位相シフト膜 (位相調整膜 31 と透過率調整膜 32 との積層構造) が形成されている。また、透過性基板 30 における透光部形成領域の上に位相調整膜 31 の単層構造が形成されて透光部が形成されている。このため、位相調整膜 31 の単層構造により高透過率位相シフターとして機能する透光部と、該透光部と同位相で露光光を透過させ且つ位相シフト膜よりなる低透過率位相シフターとによって、位相シフト膜のない開口部、つまり透光部と反対位相で露光光を透過させる周辺部が挟まれる。その結果、周辺部を透過する光と透光部を透過する光との相互干渉により、透光部と周辺部との間の光強度分布のコントラストを強調できる。また、このコントラスト強調効果は、例えばポジ型レジストプロセスにおいて斜入射露光を用いて微細な孤立レジスト除去部 (つまり微細な孤立スペースパターン) を形成する場合にも得られる。すなわち、本実施形態のフォトマスクと斜入射露光との組み合わせにより、孤立スペースパターンと孤立ラインパターン又は密集パターンとを同時に微細化することができる。

【0214】

また、第 3 の実施形態によると、低透過率位相シフターとなる位相シフト膜が、高透過率の位相調整膜 31 と低透過率の透過率調整膜 32 との積層構造を有する。このため、位相
50

シフト膜において所望の位相変化と所望の透過率との組み合わせを任意に選べる。また、位相調整膜 3 1 の材料と透過率調整膜 3 2 の材料との組み合わせによって、位相シフト膜を加工するためのエッチング時の選択比を向上させることができる。

【0215】

また、第 3 の実施形態によると、透過性基板 3 0 上に位相調整膜 3 1 及び透過率調整膜 3 2 を順次形成した後、透過率調整膜 3 2 及び位相調整膜 3 1 に対してそれぞれ選択的にエッチングを行なう。このため、低透過率位相シフター（半遮光部）と開口部（周辺部）とを有する任意形状のマスクパターン、及び高透過率位相シフターとなる任意形状の透光部をそれぞれ容易に実現できる。

10

【0216】

また、第 3 の実施形態によると、低透過率位相シフターを構成する、位相調整膜 3 1 及び透過率調整膜 3 2 の積層構造（位相シフト膜）を加工することによって任意の形状の開口部を形成できるので、輪郭強調マスクのパターンレイアウトとして、図 2 3 (b) 及び (c) に示すタイプ、つまり図 9 (b) に示すタイプに限られず、例えば図 9 (a) ~ (f) に示すタイプのいずれをも実現することが可能である。

【0217】

また、第 3 の実施形態によると、透過率調整膜 3 2 として、薄膜化された遮光膜、具体的には、透過性基板 3 0 及び位相調整膜 3 1 の積層構造との間で露光光に対して $(-30 + 360 \times n)$ 度以上で且つ $(30 + 360 \times n)$ 度以下（但し n は整数）の位相差を生じる単層薄膜を用いるため、次のような効果が得られる。すなわち、透過性基板上に、下層となる位相調整膜と上層となる透過率調整膜とからなる位相シフト膜が形成された、ハーフトーン位相シフトマスク用のマスクブランクを用意して、透過率調整膜及び位相調整膜のそれぞれに対してエッチングを行なうだけで、フォトマスク加工を容易に行なえる。言い換えると、フォトマスク製造において従来技術の流用が可能になるというメリットがある。また、透過率調整膜が、薄膜化された遮光膜であるため、用意しなければならないマスクブランク構造が非常に単純になる。

20

【0218】

ここで、薄膜化された遮光膜を透過率調整膜 3 2 として使用したことに起因する位相変化（高透過率位相シフターと低透過率位相シフターとの間に生じる位相差）がパターン形成に及ぼす影響をシミュレーションにより検討した結果について、図 2 6 (a) ~ (c) を参照しながら説明する。シミュレーション条件は、露光光の波長 $\lambda = 0.193 \mu\text{m}$ (ArF 光源)、露光機の投影光学系の開口数 $NA = 0.6$ 、輪帯照明である。

30

【0219】

図 2 6 (a) は、シミュレーションに用いた輪郭強調マスクの平面図を示している。図 2 6 (a) に示すように、高透過率位相シフター（透光部）及び開口部（周辺部）のそれぞれの幅は 200 nm 及び 50 nm であり、高透過率位相シフター、開口部及び低透過率位相シフター（半遮光部）のそれぞれの透過率は 100% 、 100% 及び 7.5% である。また、高透過率位相シフターは、開口部との間で 180 度の位相差を生じ、低透過率位相シフターは、開口部との間で $180 \sim 150$ 度の位相差を生じる。

40

【0220】

図 2 6 (b) は、低透過率位相シフターが開口部との間で 180 度、 170 度、 160 度及び 150 度の位相差を生じるような、図 2 6 (a) に示す輪郭強調マスクに対して露光を行なった場合における線分 AA' と対応する光強度分布のシミュレーション結果を示している。図 2 6 (b) に示すように、低透過率位相シフターと高透過率位相シフターとの間の位相差が 30 度程度までであれば、光強度分布におけるコントラストはほとんど影響を受けないことが分かる。

【0221】

図 2 6 (c) は、低透過率位相シフターが開口部との間で 180 度、 170 度、 160 度及び 150 度の位相差を生じるような、図 2 6 (a) に示す輪郭強調マスクに対して露光を行なった場合におけるパターン仕上がり寸法 (CD: Critical Dimensions)

50

i o n) のフォーカス依存性のシミュレーション結果を示している。図 26 (c) に示すように、低透過率位相シフターと高透過率位相シフターとの間の位相差が変化すると、C D がピークとなるベストフォーカス位置が変化する。しかし、前述の位相差が変化しても、フォーカス変動に対する C D の変化しにくさ、つまり焦点深度はほとんど変化していない。ところで、フォトマスク上の全ての部分に対応して、同様のベストフォーカス位置の変動が発生することは、パターン形成において全く問題を生じない。パターン形成で問題となるのは焦点深度の値のみである。すなわち、低透過率位相シフターと高透過率位相シフターとの間の位相差が 30 度程度までであれば、フォーカス特性上、特に問題がないと言える。

10

【0222】

従って、本実施形態において、透過率調整膜 32 として、薄膜化された遮光膜を用いた場合、厳密な意味での輪郭強調マスク（低透過率位相シフターと高透過率位相シフターとの間の位相差が 0 度）を実現することはできないが、薄膜によって生じる位相差が 30 度程度以下であれば、輪郭強調法による効果が失われないことが分かる。具体的には、遮光膜の材料として T a、C r 又はそれらを含む合金等を用いた場合、A r F 光源からの光に対して高透過率位相シフター（透光部）との間で 30 度程度の位相差を発生する遮光膜の厚さは概算で 30 nm 以上ある。そして、この厚さは、10 % 程度以下の透過率を実現するために十分な厚さである。

【0223】

尚、第 3 の実施形態において、位相調整膜 31 及び透過率調整膜 32 の積層構造よりなる位相シフト膜の透過率は 6 % 以上で且つ 15 % 以下であることが好ましい。このようにすると、パターン形成時におけるレジスト膜の膜減り等を防止しながら、本実施形態によるコントラスト強調効果を確実に得ることができる。

20

【0224】

また、第 3 の実施形態において、ポジ型レジストプロセスの使用を前提として説明を行なったが、言うまでもなくポジ型レジストプロセスに代えてネガ型レジストプロセスを用いてもよい。ここで、いずれのプロセスを用いる場合にも、露光光源として、例えば、i 線（波長 365 nm）、K r F エキシマレーザ光（波長 248 nm）、A r F エキシマレーザ光（波長 193 nm）又は F₂ エキシマレーザ光（波長 157 nm）等が利用できる

30

【0225】

また、第 3 の実施形態において、例えば図 9 (a) ~ (c) に示されるような、高透過率位相シフターと開口部とが隣接するレイアウトの輪郭強調マスクを対象としたが、これに代えて、例えば図 9 (d) ~ (f) に示されるような、高透過率位相シフターと開口部とが離間するレイアウトの輪郭強調マスクを対象としてもよい。

【0226】

また、第 3 の実施形態において、透過率調整膜 32 の上にさらに位相調整膜を堆積することによって、高透過率位相シフターと低透過率位相シフターとの間の位相差を実質的に 0 度としてもよいことは言うまでもない。

40

【0227】

また、第 1 ~ 第 3 の実施形態において、フォトマスクにおける開口部（周辺部：透過率調整部であってもよい）及び高透過率位相シフター（透光部）以外の部分が全て低透過率位相シフター（半遮光部）であることを前提としてきた。しかし、フォトマスクにおける開口部及び高透過率位相シフターのそれぞれから十分離れた部分、つまり、フォトマスクにおける、開口部及び高透過率位相シフターのそれぞれから光学的な干渉効果の影響がほとんど無視できる距離（ $= 2 \times \lambda / NA$ （ λ は露光光の波長であり、NA は露光機の縮小投影光学系の開口数である））以上離れた部分は完全遮光部であってもよい。

【0228】

【発明の効果】

本発明によると、透光部を透過する光と周辺部を透過する光との相互干渉により、透光部

50

と周辺部との間の光強度分布のコントラストを強調できる。また、このコントラスト強調効果は、例えばポジ型レジストプロセスにおいて斜入射露光を用いて微細な孤立レジスト除去部（つまり透光部と対応する微細な孤立スペースパターン）を形成する場合にも得られる。すなわち、本発明と斜入射露光との組み合わせにより、孤立スペースパターンと孤立ラインパターン又は密集パターンとを同時に微細化することができる。

【図面の簡単な説明】

【図 1】 (a) ~ (g) は本発明の輪郭強調法の原理を説明する図である。

【図 2】 (a) ~ (f) は従来の位相端を利用したイメージ強調効果における光源形状に対する依存性を説明する図である。

【図 3】 (a) ~ (f) は本発明の輪郭強調法における位相シフターの寸法限界を説明する図である。

【図 4】 (a) 及び (b) は本発明の輪郭強調法における位相シフターの寸法限界を説明する図である。

【図 5】 (a) ~ (f) は本発明の輪郭強調マスクによる孤立パターン形成における様々な光源位置からの露光光入射によって生じる光強度分布を説明する図である。

【図 6】 (a) ~ (f) は従来のハーフトーン位相シフトマスクによる孤立パターン形成における様々な光源位置からの露光光入射によって生じる光強度分布を説明する図である。

【図 7】 (a) ~ (f) は本発明の輪郭強調マスクにおける半遮光部の透過率に対するコントラスト及び D O F の依存性を説明する図である。

【図 8】 (a) ~ (f) はコンタクトパターンと対応する開口部が設けられた輪郭強調マスクにおける、半遮光部と位相シフターとによって構成される遮光性のマスクパターンのレイアウトのバリエーションを示す図である。

【図 9】 (a) ~ (f) はコンタクトパターンと対応する高透過率位相シフターが設けられた輪郭強調マスクにおける、低透過率位相シフターと開口部とによって構成される遮光性のマスクパターンのレイアウトのバリエーションを示す図である。

【図 10】 (a) は、本発明の第 1 の実施形態に係るフォトマスクを用いて形成しようとする所望のパターンの一例を示す図であり、(b) は、本発明の第 1 の実施形態に係るフォトマスクの平面図であり、(c) は (b) における A A' 線の断面図である。

【図 11】 (a) は、本発明の第 1 の実施形態に係るフォトマスクにおいて位相シフト膜が単層膜である場合の断面図であり、(b) は、本発明の第 1 の実施形態に係るフォトマスクにおいて位相シフト膜が透過率調整膜と位相調整膜との積層膜である場合の断面図である。

【図 12】 (a) は通常の露光光源の形状を示す図であり、(b) は輪帯露光光源の形状を示す図であり、(c) は四重極露光光源の形状を示す図であり、(d) は輪帯-四重極混成型露光光源の形状を示す図である。

【図 13】 (a) ~ (d) は本発明の第 1 の実施形態に係るフォトマスクを用いたパターン形成方法の各工程を示す断面図である。

【図 14】 (a) ~ (e) は本発明の第 1 の実施形態に係るフォトマスクの作成方法の各工程を示す断面図であり、(f) は (c) の断面図と対応する平面図であり、(g) は (e) の断面図と対応する平面図である。

【図 15】 (a) ~ (e) は本発明の第 1 の実施形態の第 1 変形例に係るフォトマスクの作成方法の各工程を示す断面図であり、(f) は (c) の断面図と対応する平面図であり、(g) は (e) の断面図と対応する平面図である。

【図 16】 (a) ~ (e) は本発明の第 1 の実施形態の第 2 変形例に係るフォトマスクの作成方法の各工程を示す断面図であり、(f) は (c) の断面図と対応する平面図であり、(g) は (e) の断面図と対応する平面図である。

【図 17】 (a) 及び (b) は本発明の第 1 の実施形態の第 3 変形例に係るフォトマスクの平面図及び断面図であり、(c) 及び (d) は、開口部と高透過率位相シフターとの間の位相調整膜が除去された、本発明の第 1 の実施形態の第 3 変形例に係るフォトマスクの

平面図及び断面図である。

【図18】(a)は、本発明の第2の実施形態に係るフォトマスクを用いて形成しようとする所望のパターンの一例を示す図であり、(b)は、本発明の第2の実施形態に係るフォトマスクの平面図であり、(c)は(b)におけるAA'線の断面図である。

【図19】(a)～(d)は本発明の第2の実施形態に係るフォトマスクを用いたパターン形成方法の各工程を示す断面図である。

【図20】(a)～(e)は本発明の第2の実施形態に係るフォトマスクの作成方法の各工程を示す断面図であり、(f)は(c)の断面図と対応する平面図であり、(g)は(e)の断面図と対応する平面図である。

【図21】(a)～(e)は本発明の第2の実施形態の第1変形例に係るフォトマスクの作成方法の各工程を示す断面図であり、(f)は(c)の断面図と対応する平面図であり、(g)は(e)の断面図と対応する平面図である。

【図22】(a)～(e)は本発明の第2の実施形態の第2変形例に係るフォトマスクの作成方法の各工程を示す断面図であり、(f)は(c)の断面図と対応する平面図であり、(g)は(e)の断面図と対応する平面図である。

【図23】(a)は、本発明の第3の実施形態に係るフォトマスクを用いて形成しようとする所望のパターンの一例を示す図であり、(b)は、本発明の第3の実施形態に係るフォトマスクの平面図であり、(c)は(b)におけるAA'線の断面図である。

【図24】(a)～(d)は本発明の第3の実施形態に係るフォトマスクを用いたパターン形成方法の各工程を示す断面図である。

【図25】(a)～(e)は本発明の第3の実施形態に係るフォトマスクの作成方法の各工程を示す断面図であり、(f)は(c)の断面図と対応する平面図であり、(g)は(e)の断面図と対応する平面図である。

【図26】(a)～(c)は本発明の第3の実施形態に係るフォトマスクの透過率調整膜として、薄膜化された遮光膜を使用したことに起因する位相変化がパターン形成に及ぼす影響を説明する図である。

【図27】(a)～(g)は従来のハーフトーン位相シフトマスクによるイメージ強調原理を説明する図である。

【符号の説明】

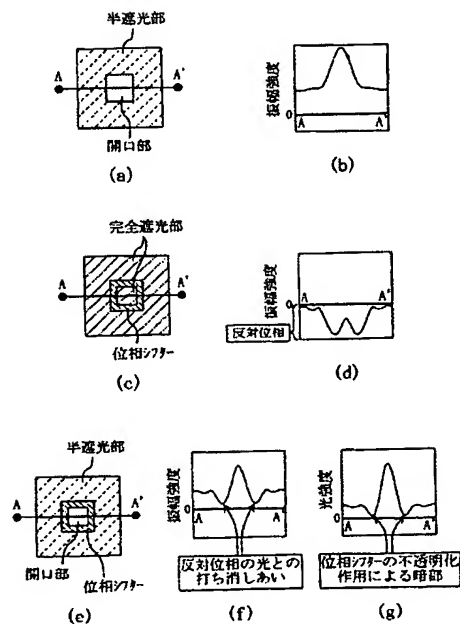
- | | | |
|-------------------------|-------------|----|
| 1 a、1 b、1 c、1 d、1 e、1 f | 輪郭強調マスク | 30 |
| 2 a、2 b、2 c、2 d、2 e、2 f | 透過性基板 | |
| 3 a、3 b、3 c、3 d、3 e、3 f | 半遮光部 | |
| 4 a、4 b、4 c、4 d、4 e、4 f | 開口部 | |
| 5 a、5 b、5 c、5 d、5 e、5 f | 位相シフター | |
| 10 | 透過性基板 | |
| 10 a | 掘り下げ部 | |
| 11 | 位相シフト膜 | |
| 11 A | 透過率調整膜 | |
| 11 B | 位相調整膜 | |
| 12 | 第1のレジストパターン | 40 |
| 13 | 第2のレジストパターン | |
| 20 | 透過性基板 | |
| 20 a | 掘り下げ部 | |
| 21 | 透過率調整膜 | |
| 22 | 位相シフト膜 | |
| 23 | 第1のレジストパターン | |
| 24 | 第2のレジストパターン | |
| 30 | 透過性基板 | |
| 31 | 位相シフト膜 | |
| 32 | 透過率調整膜 | 50 |

3 3	第1のレジストパターン
3 4	第2のレジストパターン
1 0 0	基板
1 0 1	被加工膜
1 0 2	レジスト膜
1 0 2 a	潜像部分
1 0 3	露光光
1 0 4	透過光
1 0 5	レジストパターン
2 0 0	基板
2 0 1	被加工膜
2 0 2	レジスト膜
2 0 2 a	潜像部分
2 0 3	露光光
2 0 4	透過光
2 0 5	レジストパターン
3 0 0	基板
3 0 1	被加工膜
3 0 2	レジスト膜
3 0 2 a	潜像部分
3 0 3	露光光
3 0 4	透過光
3 0 5	レジストパターン

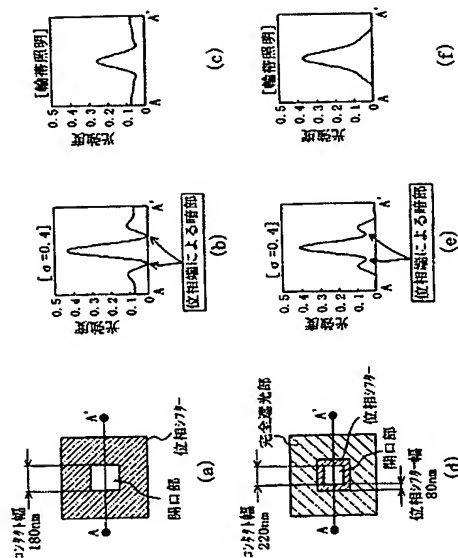
10

20

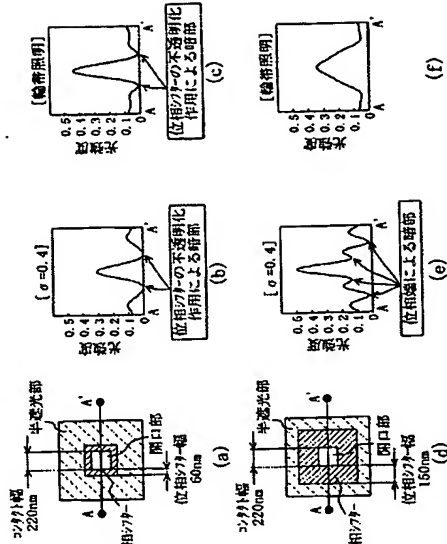
【図1】



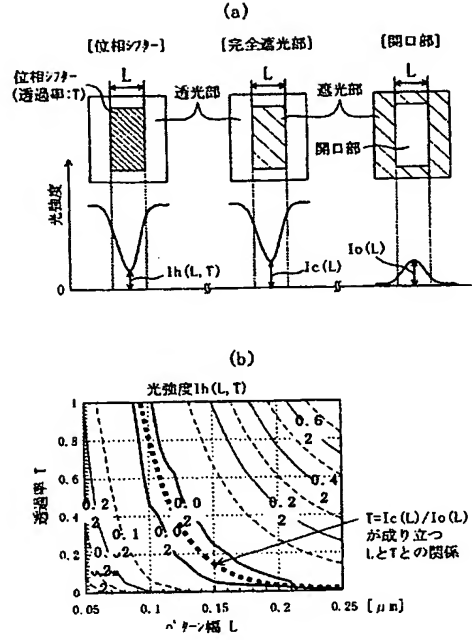
【図2】



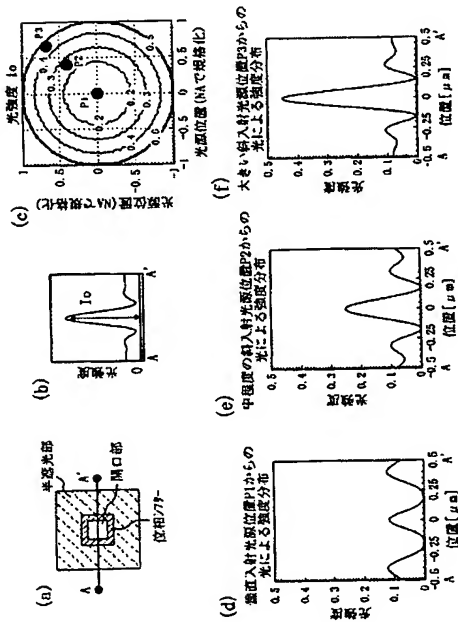
【図 3】



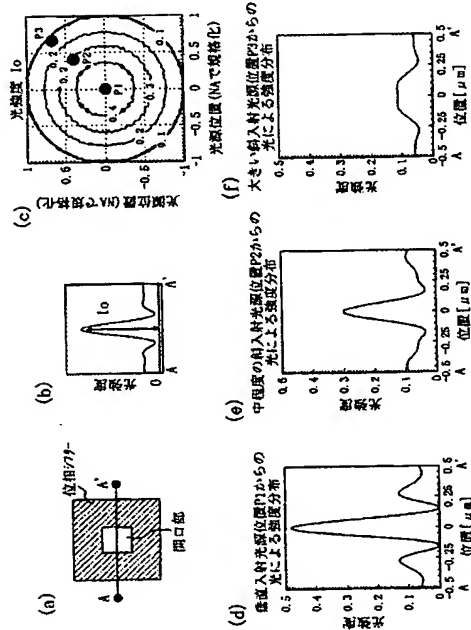
【図 4】



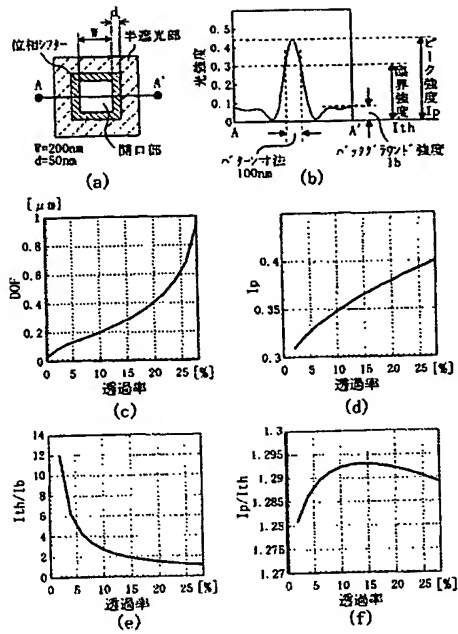
【図 5】



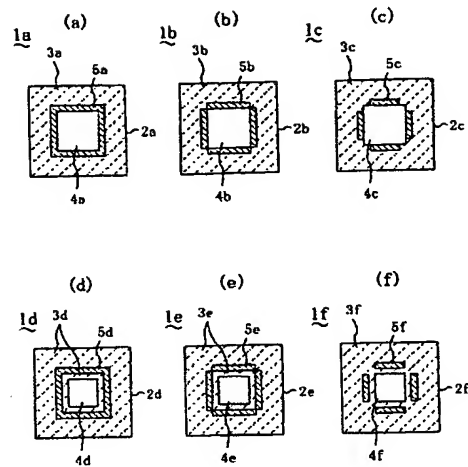
【図 6】



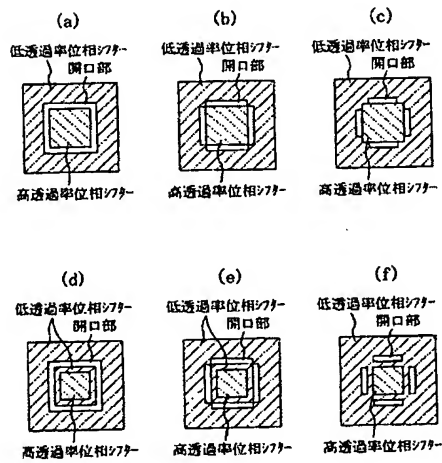
【図 7】



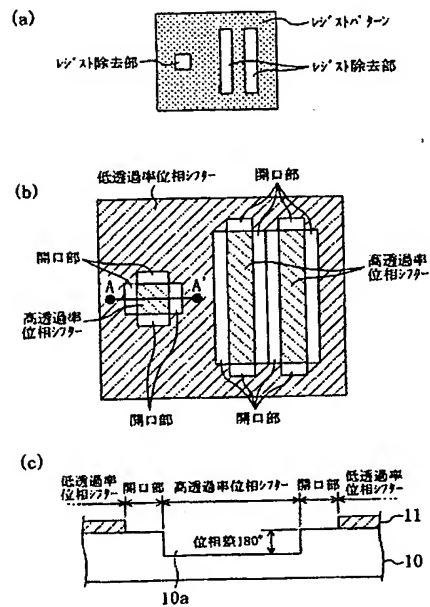
【図 8】



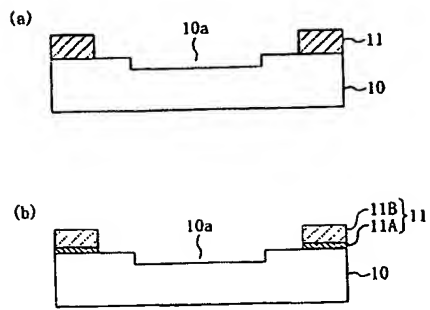
【図 9】



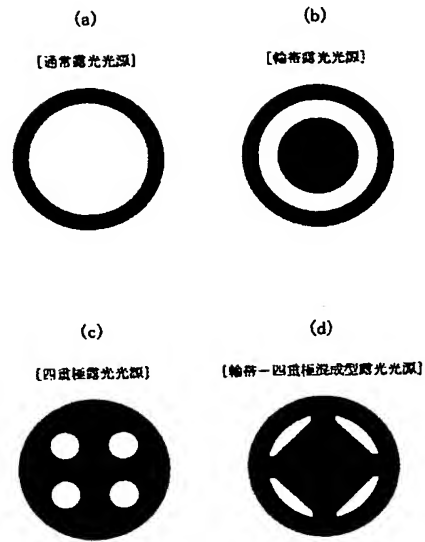
【図 10】



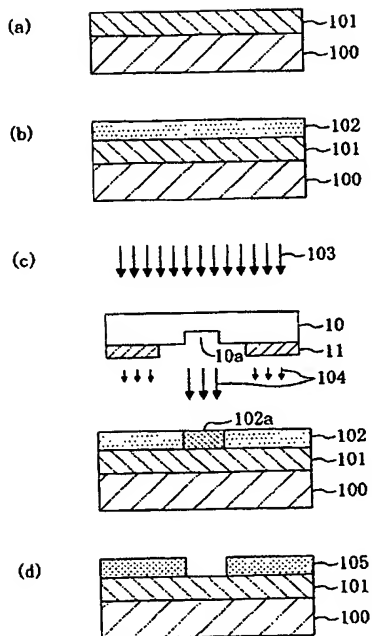
【図 1 1】



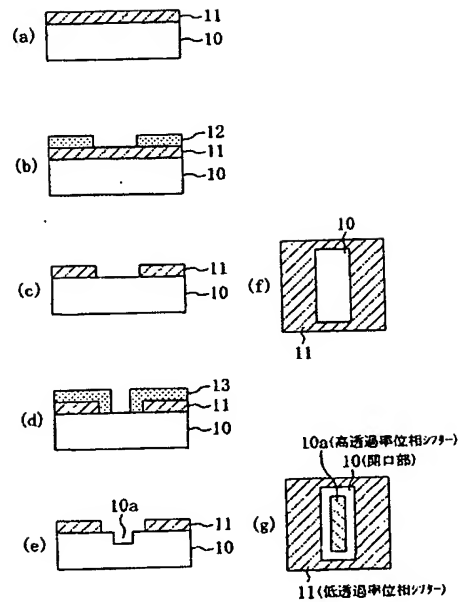
【図 1 2】



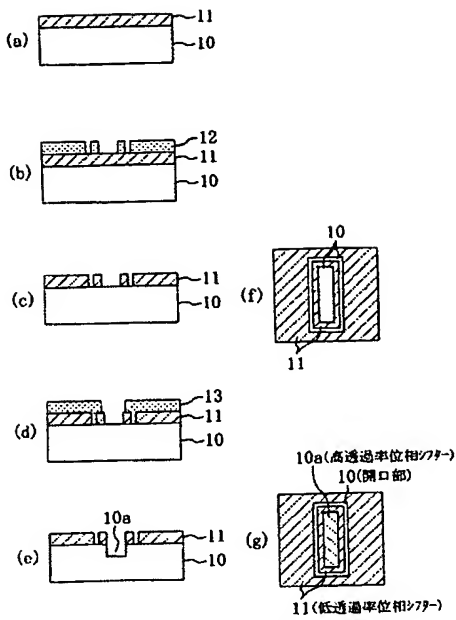
【図 1 3】



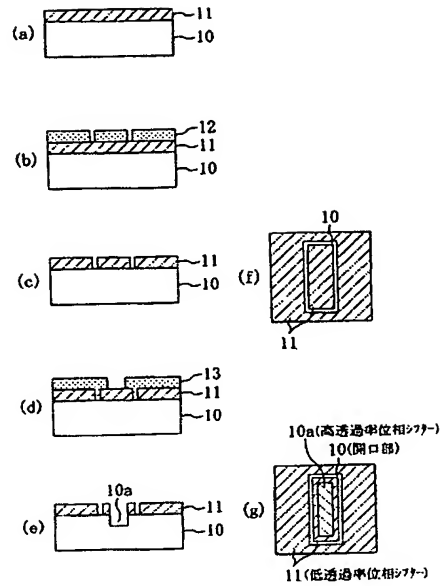
【図 1 4】



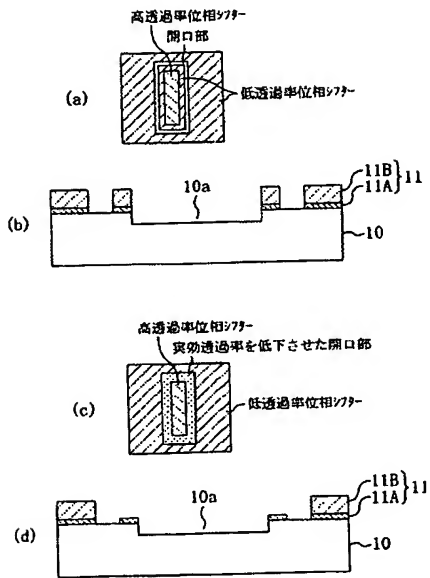
【図15】



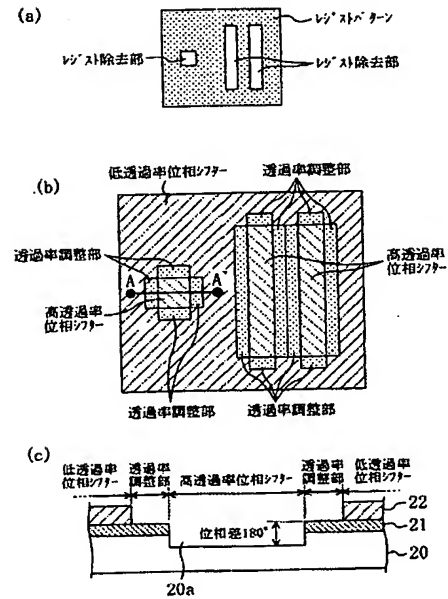
【図16】



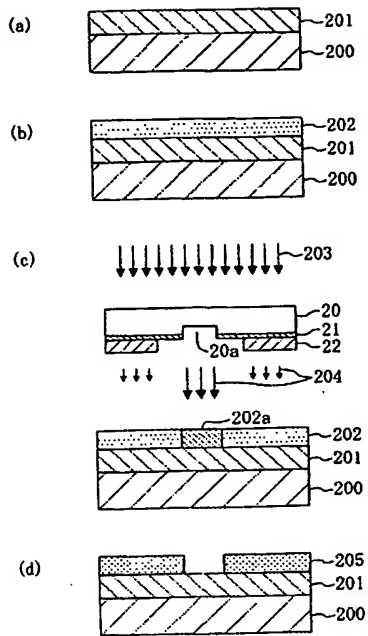
【図17】



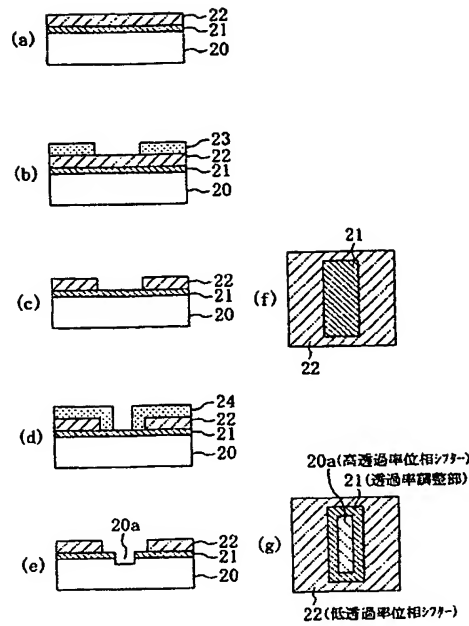
【図18】



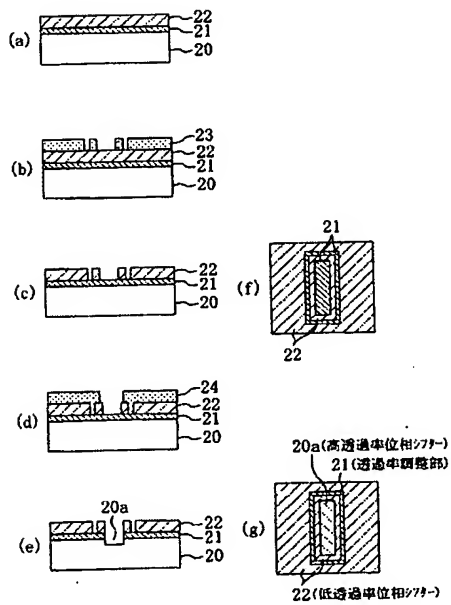
【図 19】



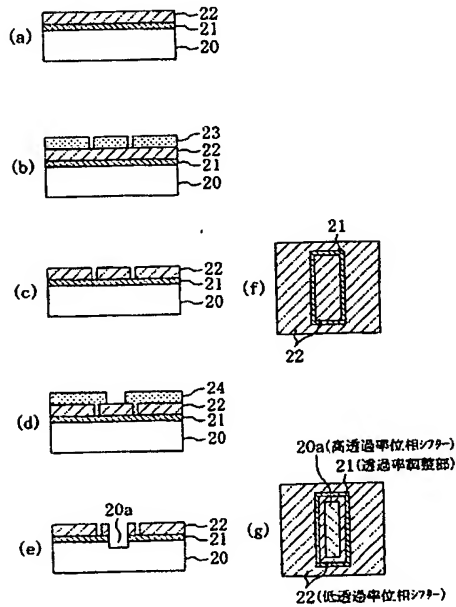
【図 20】



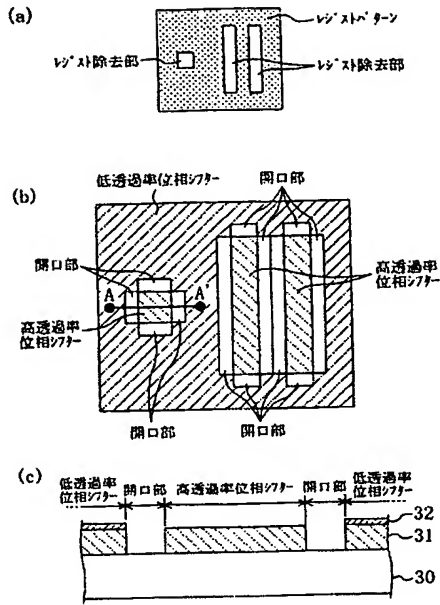
【図 21】



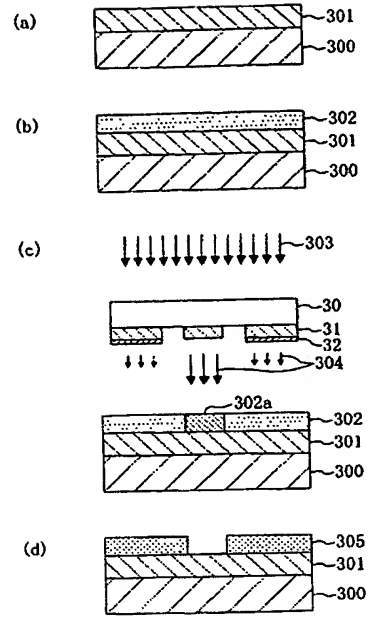
【図 22】



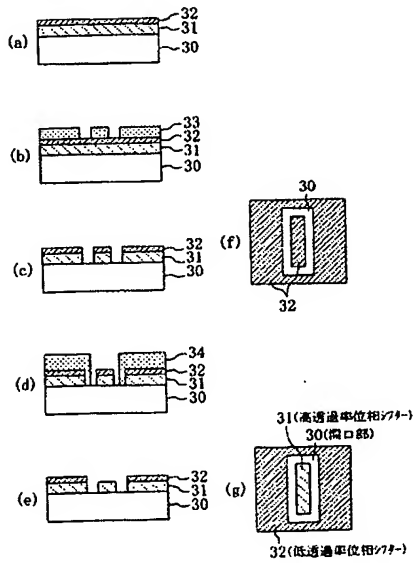
【図 23】



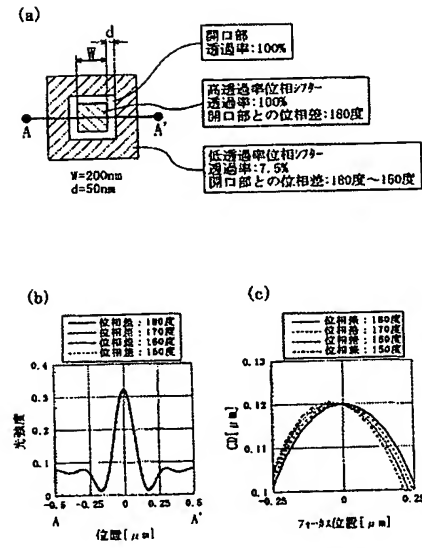
【図 24】



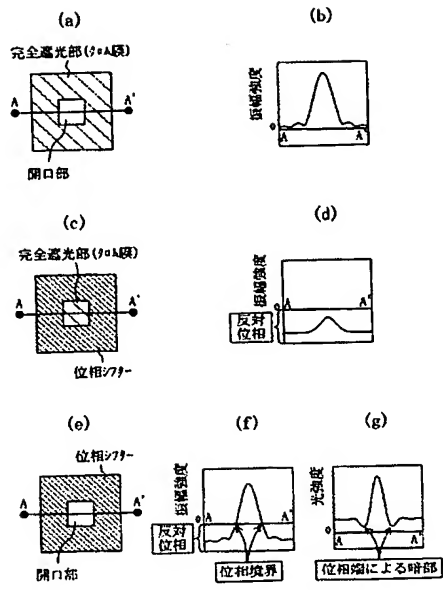
【図 25】



【図 26】



【図 27】



フロントページの続き

(74)代理人 100115691

弁理士 藤田 篤史

(74)代理人 100117581

弁理士 二宮 克也

(74)代理人 100117710

弁理士 原田 智雄

(74)代理人 100121500

弁理士 後藤 高志

(74)代理人 100121728

弁理士 井関 勝守

(72)発明者 三坂 章夫

大阪府門真市大字門真 1 0 0 6 番地 松下電器産業株式会社内

F ターム(参考) 2H095 BB02 BB03 BB31 BB35 BB36 BC24

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning
Operations and is not part of the Official Record**

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

☒ **BLACK BORDERS**

☒ **IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES**

☒ **FADED TEXT OR DRAWING**

☐ **BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING**

☐ **SKEWED/SLANTED IMAGES**

☐ **COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS**

☐ **GRAY SCALE DOCUMENTS**

☐ **LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT**

☐ **REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY**

☐ **OTHER:** _____

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.